EB

George
Thomson

Inspirație
și descoperire

Lucrarea, deși larg accesibilă, are un pronunțat caracter de originalitate ; ea reprezintă în mare măsură profesiunea de credință a unui savant de renume mondial. Stînd de vorbă cu cititorul, Thomson îi împărtășește părerile sale despre gîndirea și metoda științifică modernă, îi destăinuiește cum anume cugetă și cum lucrează omul de știință. Totodată, sintetizînd unele dintre ideile esențiale ale fizicii contemporane, el descrie geneza unor descoperiri de însemnătate majoră. Un interes excepțional. stîrnesc pătrunzătoarele caracterizări date unor savanți celebri pe care autorul i-a cunoscut personal — ca Rayleigh, Einstein, Lorentz, Planck, Rutherford și alții. „Autorul — scrie despre Thomson și cartea lui renumitul fizician S. P. Kapița — poate fi considerat nu numai un cercetător al naturii, ci și un scriitor sau, dacă vreți, un artist... El știe să găsească aspecte menite să intereseze pe foarte mulți cititori, chiar dacă preocupările unora dintre aceștia n-au nimic comun cu știința".

Lei 6,25

EB George Thomson Inspirație și descoperire

EB

ENCICLOPEDIA DE BUZUNAR

GEORGE
THOMSON

Inspirație și descoperire

EDITURA ENCICLOPEDICĂ ROMÂNĂ

THOMSON, SIR GEORGE PAGET, fizician englez, laureat al Premiului Nobel pentru fizică (1937) pentru lucrarea sa despre difracția electronilor în cristale, s-a născut la Cambridge, Anglia, la 3 mai 1892, fiind unicul fiu al lui Joseph Thomson, eminent fizician, laureat al Premiului Nobel (1905). După ce și-a făcut studiile la Trinity College de la Cambridge (1914), a slujit în timpul primului război mondial în rîndurile armatei engleze din Franța, apoi a făcut parte din misiunea britanică în S.U.A. Spre sfîrșitul războiului a lucrat în laboratorul Cavendish de la Cambridge. În 1922 a fost numit profesor de „filozofie naturală" (fizică) la Universitatea din Aberdeen. Acolo și-a efectuat cercetările cu privire la difracția electronilor în cristale. Cunoașterea acestui fenomen a permis să se stabilească proprietățile ondulatorii ale electronilor în mișcare, avînd, de asemenea, importante aplicații. Cu ajutorul camerei de difracție electronică a devenit posibil să se deter-

mine aranjamentul atomilor în multe solide și lichide, ceea ce a aruncat o lumină puternică asupra problemelor privind comportarea și rezistența metalelor supuse la eforturi. Din 1930 pînă în 1952 Thomson a fost profesor de fizică la Colegiul Imperial de Știință și Tehnologie (Universitatea din Londra). În timpul celui de-al doilea război mondial a fost unul din principalii consilieri științifici ai guvernului britanic și ai Comisiei pentru Energia Atomică a O.N.U. A fost ales membru al Societății Regale în 1930; a fost distins cu medalia Hughes în 1939 și cu Medalia Regală în 1949; a fost înnobilat în 1934. În 1952 a devenit directorul Colegiului „Corpus Christi" (Cambridge), funcție din care s-a retras în 1962.

(După *Encyclopaedia Britanica*, vol. 21, 1969)

Prefață

Cartea de față este o modestă încercare de a înfățișa modul de a gîndi al omului de știință, în special atunci cînd este angajat într-o muncă de cercetare. Este drept că ea se bizuie exclusiv pe propria mea experiență, pe propriile mele lecturi și observații — care toate se limitează la fizică și, în foarte mică măsură, la chimie; dar presupun — deși nu o pot dovedi — că deosebirea față de alte științe nu este chiar atît de mare cît par să creadă unii dintre exponenții lor. În orice caz, nimeni nu poate vorbi astăzi în numele întregii științe și este mai probabil să poți obține o imagine adecvată dacă nu încerci să acoperi o arie prea largă. Această lucrare se ocupă aproape exclusiv de ceea ce a primit denumirea de știință „pură" — o îndeletnicire intelectuală a cărei răsplată diferă complet de cea pe care ți-o oferă tehnica. Tehnica este tot atît de captivantă și tot atît de dificilă, dar se deosebește de știința „pură" la fel cum se deosebește cultivarea pămîntului de creșterea trandafirilor sau arhitectura de sculptură.

Evident, este cu neputință să prezinți gîndirea științifică fără a da exemple, căci este vorba de a încerca să explici o bună parte din fizică, inclusiv multe din cele

mai importante principii ale acestei științe. Am redus însă expunerea teoriilor la un minimum și sub nici un raport cartea aceasta nu este un manual, nici măcar unul de popularizare. Nu am ezitat să repet descrierea unor fapte ori de cîte ori aceasta s-a dovedit necesar și m-am străduit să fac din fiecare capitol o entitate cît mai de sine stătătoare, așa încît să solicite cît mai puțin memoria cititorului. Sper că această carte va putea fi citită și înțeleasă de oameni care au puține cunoștințe de fizică sau chiar nici una. Foarte scurtele schițe biografice se referă toate la oameni pe care i-am cunoscut fie personal, fie prin tradiția vie a familiei mele. Deși m-ar fi tentat, nu am inclus în carte nici un fizician în viață. Dar, chiar cu aceste precizări, alegerea nu reprezintă propria mea apreciere despre cele mai de seamă personalități. Nu am inclus decît pe acei oameni de știință ale căror lucrări se ocupă de idei ce se încadrează în planul acestei cărți. Spre a evita necesitatea unor frecvente întreruperi în expunere (reclamată de explicarea termenilor tehnici), am adăugat la sfîrșitul lucrării un glosar al principalilor termeni folosiți.

Doresc să-mi exprim recunoștința față de W. H. McCrea, membru al Societății Regale și profesor la Universitatea din Londra. El nu poartă nici o răspundere pentru părerile expuse în capitolul 5, dar observațiile sale la acest capitol mi-au fost de mare folos. Aș dori, de asemenea, să mulțumesc secretarei mele, doamna Bainbridge, pentru grija și neabătutele ei eforturi în munca de pregătire a manuscrisului.

Cambridge, august 1961

Mulțumiri

Fig. 2 a fost reprodusă, cu permisiunea editurii Edward Arnold Ltd., după lucrarea Ions, Electrons and Ionizing Radiation *de* C r o w t h e r; *fig. 3 — cu permisiunea editurii G. Bell and Sons Ltd. — după* B r a g g, Introduction to Crystal Analysis. *Fotografia din fig. 5 a fost reprodusă, cu permisiunea editurii Longmans, Green and Co., Ltd., după lucrarea* Rays of Positive Electricity *de* J. J. T h o m s o n. *Fig. 10 este luată, cu permisiunea editurii Cambridge University Press, din* J. C o x, Mechanics. *Fotografia din fig. 11 este reprodusă, cu permisiunea editurii Hutchinson Publishing Group, după* E. L a r s e n, An American in Europe. *Caricatura din fig. 12 este reprodusă după „Punch" cu permisiunea acestei reviste. Fotografia din fig. 14 este luată, cu permisiunea editurii Pergamon Press Ltd., din* R o c h e s t e r *and* W i l s o n, Claud Chamber Photographs of the Cosmic Radiation.

1
Introducere

Ce obiective își propune știința?

> *Știința este, în esență, căutarea adevărului. Și aceasta încă de pe vremea lui Tales, cînd unii oameni, cetățeni ai înfloritoarelor cetăți din vestul Asiei Mici, au început să se îndeletnicească cu gîndirea abstractă nelegată de religie, ceea ce a constituit cea mai mare dintre numeroasele mari realizări ale poporului grec. La început nu a existat o separare între ceea ce astăzi denumim filozofie, matematică și știință. Se spera — și pe bună dreptate — că prin forța intelectului se va putea ajunge la concluzii valabile cu privire la Lume.*

Pe măsură ce timpul trecea, două domenii ale cunoașterii au venit să întărească această speranță, transformînd-o în convingere. Este, în primul rînd, vorba de succesele geometriei grecești, inclusiv de acel minunat

edificiu pe care, sub denumirea de geometrie euclidiană, elevii din lumea occidentală îl cunosc, într-o formă ușor modificată, de aproape două mii de ani. Geometria are însă particularitatea de a putea fi atît un exercițiu de matematică logică, cît și expresia unor realități ale lumii exterioare. Grecii trebuie să fi intuit această stare de lucruri, deoarece celebra axiomă enunțată de Euclid cu privire la liniile paralele se deosebește în mod izbitor de celelalte axiome ale sale — cum ar fi aceea că „întregul este mai mare decît partea" —, deoarece nu este de loc evidentă, deși de ea depinde tot ceea ce a urmat. Această axiomă poate fi enunțată în forme diferite, dar echivalente, una dintre ele fiind că printr-un punct dat se poate duce o paralelă la o altă dreaptă dată, și numai una. Enunțul acesta este suficient de rațional pentru a ne putea convinge că axioma e, din punct de vedere logic, necesară, în special dacă știm că ea duce la concluzii coerente și importante, pe care niciodată experiența nu le-a dezmințit.

De fapt, lucrurile nu stau chiar așa. Din punct de vedere logic sînt posibile și alte variante de geometrie, iar valabilitatea geometriei euclidiene pentru măsurătorile efectuate pe Pămînt nu este decît un fapt experimental foarte precis stabilit. Valabilitatea ei pentru întregul univers poate fi însă foarte ușor pusă la îndoială.

Celelalte mari succese au fost repurtate de greci în domeniul astronomiei. În acest domeniu ei s-au apropiat mult mai mult de știința modernă, deoarece au efectuat observații surprinzător de exacte asupra corpurilor cerești — și în special asupra planetelor —, iar aceste observații le-au folosit pentru a elabora și a verifica teorii privind mișcările corpurilor cerești[1]. Dar

[1] Ei s-au folosit în mare măsură și de observațiile efectuate de babilonieni.

în problemele terestre ei au înregistrat mult mai puține succese. Știau că, atunci cînd este frecat, chihlimbarul atrage pleava, că o piatră ce se găsea într-o localitate din Asia Mică — Magnesia — atrage fierul și au observat că un par care iese din apă pare frînt, dar nu au făcut progrese reale în științele respective. Se spune uneori că acest eșec s-ar datora faptului că erau refractari față de experiment. Pînă la un punct acest lucru este, fără îndoială, adevărat, dar cred că este vorba de ceva mai mult decît atît. De fapt, în afara numeroaselor observații astronomice, ei au efectuat ocazional și experiențe. Dar cauza eșecului lor în această privință rezidă în incapacitatea lor de a-și da seama de importanța unor fenomene aparent banale. Firmamentul era impresionant și măreț și mai era — poate — lăcașul zeilor sau chiar a ceva ce îi depășea pe zei. Firicelele de pleavă sau pilitura de fier erau un lucru amuzant, dar nu de primă importanță. A fost, în fond, o atitudine firească.

Cea mai mare descoperire pe care știința a făcut-o în materie de metodologie a fost recunoașterea faptului că un lucru banal în aparență — ba chiar ceva care nu pare a fi decît o simplă curiozitate — poate constitui cheia pentru înțelegerea celor mai profunde principii ale naturii. Grecilor nu li se poate face nici un reproș. Chiar și după apariția unui Newton, Swift a mai fost în stare să facă spirite pe seama Societății Regale, asemuind pe membrii acesteia cu „făcătorii de proiecte" din Laputa care studiau castraveții ca sursă de lumină solară, dar Swift, deși foarte antipatic ca om, era departe de a fi un nătărău.

Cum s-a ajuns la metoda științifică de cercetare nu se știe. Este însă piatra de hotar care separă epoca noastră de cele precedente și s-ar putea ca la acest punct de vedere să se fi ajuns datorită mai multor cauze, indepen-

dente unele de altele. Printre acestea se număra probabil importanța pe care magnetismul o are pentru navigație și optica pentru ochelari. Nu ar fi exclus ca și artileria să-și fi adus partea ei de contribuție la faptul că noua mecanică a lui Galilei a părut mai puțin neverosimilă. O cauză de mare însemnătate a constituit-o însă emoția stîrnită de descoperirea drumului spre India de-a lungul coastelor africane, iar apoi descoperirea Lumii Noi. Într-o epocă în care pînă și cele mai extravagante proiecte de descoperiri geografice erau încununate de succes, era firesc să se încerce și descoperiri de un alt gen, să se lărgească orizontul intelectual, să se pună tot mai multe întrebări iscoditoare și în domeniile mai accesibile. Întotdeauna prima descoperire este însuși faptul că există lucruri ce merită să fie descoperite. Astfel, aparenta banalitate a pietrei din Magnesia și aceea a chihlimbarului a căpătat cu totul altă semnificație, iar de la Maxwell încoace este clar pentru toți oamenii cu discernămînt că concepțiile ce rezultă din aceste fenomene nu sînt mai puțin importante decît alte probleme, de exemplu problema structurii materiei.

Astăzi știința este în egală măsură prețuită și temută din cauza consecințelor pe care le poate avea pentru viața oamenilor, dar pentru omul de știință acesta este numai un aspect, și nici măcar cel mai pregnant. Dacă este un om care are conștiință — și cred că cei mai mulți dintre noi o au — el își poate liniști sentimentul de jenă pe care îl resimte la gîndul că-și petrece aproape întreaga viață făcînd ceea ce-i place, cu gîndul că sănătatea și nivelul de trai al majorității oamenilor au fost mult îmbunătățite de descoperirile făcute de alți oameni de știință și că fără descoperirile acestora întreaga civilizație actuală ar fi fost efectiv imposibilă. Totodată, omul de știință înzestrat cu con-

știință poate considera de datoria lui să atragă atenția asupra pericolelor pe care le implică unele descoperiri și să protesteze împotriva abuzurilor — efective sau viitoare — ce ar putea fi comise. Dar chiar dacă lucrează în domeniul științei aplicative, este probabil că ceea ce îl interesează de fapt este latura intelectuală a problemei și, în special, modul în care ea se împletește cu alte probleme, în aparență complet diferite.

Făcînd abstracție de plăcerea pe care o procură oamenilor de știință, valoarea intelectuală a științei poate fi apreciată din două puncte de vedere. Ea reprezintă o mare realizare a minții omenești și oferă totodată un test căruia trebuie să i se conformeze toate teoriile mai cuprinzătoare. În ultimă analiză, știința și filozofia urmăresc același țel — acela de a înțelege lumea și pe noi înșine —, dar ele pornesc de la capete opuse. Știința pornește de la examinarea amănunțită a unor cazuri particulare și, dacă poate, trece de la aceste cazuri la concepții de ordin mai general. Filozofia pornește de la general și caută să explice particularul. S-ar putea spune că știința nu se atinge de lucrurile cu adevărat fundamentale. Într-adevăr, metoda ei este modestă: pornește de la lucrurile cele mai de jos, chiar de la cele în aparență banale. De la greci încoace, ea a parcurs un drum lung și nu există încă vreun semn că drumul s-ar sfîrși. **Ea construiește o piramidă cu o bază foarte largă și care se bizuie ferm pe fapte observate.** Filozofia a produs într-adevăr un mare număr de sisteme geniale, dar în privința lor numai rareori a existat un consens general și, în orice caz, niciodată pentru o perioadă mai îndelungată. Sper să pot arăta în ce măsură ar fi valabilă o obiecție similară la adresa concluziilor celor mai abstracte ale fizicii.

Întreaga știință — și nu numai fizica, de care ne vom ocupa în lucrarea de față — depinde de c o n c e p t e l e **ei. Aceste concepte sînt idei care capătă o denumire. Ele determină întrebările pe care le punem și, în felul acesta, implicit, răspunsurile pe care le putem obține. Ele sînt mai fundamentale decît teoriile enunțate în funcție de aceste concepte.** Ca exemple putem cita: mișcarea, masa, energia, sarcina electrică, polii magnetici, temperatura, undele, particulele. Unele dintre ele sînt rezultatul prelucrării la un nivel superior a unor idei și noțiuni obișnuite pe care — într-o măsură mai mare sau mai mică — le putem percepe cu ajutorul simțurilor. Altele nu sînt de genul acesta, dar toate, într-un fel sau într-altul, sînt legate de experiment sau de practică, deși multe — de fapt, majoritatea — nu pot fi observate în mod direct. Este un mare avantaj dacă un concept poate fi exprimat într-o formă matematică și reprezentat într-un caz particular printr-o cifră sau un grup de cifre, dar adesea în biologie acest lucru nu este posibil și chiar în fizică există unele concepte ce nu pot fi exprimate sub această formă — ca, de pildă, conceptele meteorologice de „ciclon", „fronturi calde și reci" etc.

Chiar dintre conceptele care se pretează unei definiții precise, nu toate sînt în strictă concordanță cu natura. Ele pot reprezenta idei aproximative, simplificatoare și totuși pot fi foarte utile. Un exemplu bun în acest sens îl constituie raza de lumină, concepută ca o linie matematică de-a lungul căreia se propagă lumina. Lăsînd deoparte faptul că în lumea materială este o imposibilitate să se realizeze o linie matematică, această concepție nu corespunde decît în mod foarte grosier realității. Dacă vom încerca să obținem un fascicul foarte îngust de lumină folosind pentru limitarea lui fante fine sau

mici orificii, vom izbuti pînă la un punct; dincolo de acest punct însă, îngustînd și mai mult fantele sau orificiile, fasciculul nu se va împrăștia mai puțin, ci mai mult. Deși această împrăștiere și, ca o consecință a ei, devierea luminii sînt cunoscute încă din secolul al XVII-lea, și cu toate că explicația valabilă a acestui fenomen cu ajutorul unui alt concept — undele — este cunoscută de pe la începutul secolului al XIX-lea, expresia „rază de lumină" continuă să fie folosită. Ea este folosită aproape fără concurență în numeroase lucrări de laborator, pînă și în complicatele calcule necesare la proiectarea lentilelor destinate aparatelor fotografice și chiar a microscoapelor. Aceasta fiindcă ea se pretează mai bine la calculele matematice decît conceptul mai subtil de „undă" și fiindcă — exceptînd unele rare cazuri speciale de care se poate ține seama — conceptul de „rază de lumină" este suficient de precis. Deși e aproximativ, conceptul exprimă un adevăr valabil despre lumină. De fapt, teoriile mai subtile și complexe pot fi reduse la teoria simplă a razelor, iar aproximația poate fi oricît de mică dacă lucrezi la o scară suficient de mare în comparație cu ceea ce poartă denumirea de „lungime de undă". Dat fiind că pentru lumina obișnuită lungimea de undă este de ordinul a $\frac{2}{100\,000}$ dintr-un țol[1], „razele" pot fi folosite pentru a desena lentile și oglinzi de dimensiuni obișnuite, cu excepția anumitor particularități ale lentilelor destinate obiectivelor de microscop în cazul cînd părțile de obiect ce se speră a fi văzute nu sînt mult mai mari decît această limită.

Pentru progresul științei este caracteristic faptul că un concept sau un grup de concepte pot, pe plan filozofic,

[1] 1 țol = aproximativ 25,4 mm *(N.T.)*.

ceda locul altui concept fără a afecta prea mult cunoștințele obținute cu ajutorul conceptelor inițiale. Cînd explicarea luminii prin teoria razelor a fost abandonată în favoarea undelor din eter, a rămas valabil tot — sau aproape tot — ce rezultase din teoria razelor pentru proiectarea instrumentelor optice care folosesc lentile și oglinzi; au fost însă inventate alte instrumente care fără teoria undelor nu ar fi putut să fie concepute. Cînd, la rîndul ei, teoria cuantelor a înlocuit teoriile despre lumină bazate pe presupusa existență a eterului, nu a fost afectată construcția nici unuia din aceste două genuri de instrumente, dar noua teorie este de mare însemnătate pentru perfecționarea plăcilor fotografice și pentru construcția celulei fotoelectrice.

Capacitatea de a transfera unele rezultate de detaliu de la o teorie la alta constituie o mare forță a științei și îi este specifică. Pare absurd să se presupună că putem modifica principii aparent fundamentale fără a modifica prea mult concluziile de amănunt, dar, în fond, acest lucru este consecința firească a modului în care procedează știința, și anume de la detaliu la general. Concluziile generale pot fi mai degrabă concepute drept vîrful unei piramide cu bază mare decît ca fundațiile pe care se înalță edificiul. Sau, pentru a face o altă comparație, am putea spune că progresul științei seamănă în oarecare măsură cu acele jocuri-mozaic în care o imagine trebuie compusă dintr-un mare număr de părticele. Începem prin a grupa acele părticele care se potrivesc fără nici un dubiu, deși la început nu ne este clar unde va trebui așezat acest subansamblu în imaginea finală, iar dacă greșim putem corecta greșeala fără a fi nevoie să desfacem întregul subansamblu.

S-a afirmat uneori că atît conceptele cît și teoriile științifice sînt pure creații umane, și nu adevăruri obiective. Cred că această concepție este greșită, deși, bineînțeles, elementul uman joacă și el un rol. Sînt de părere că conceptele și teoriile sînt mai degrabă descoperite decît inventate și că omul de știință seamănă mai mult cu Columb decît cu Arkwright[1], dar în această chestiune cititorul își va forma singur o părere.

Înainte de a cerceta mai în amănunțime cum se nasc conceptele și cum sînt ele folosite în fizică mai trebuie menționat și un alt aspect: experiențele și observațiile implică existența unui observator. **În ultimii cincizeci de ani, importanța observatorului a devenit tot mai evidentă, în special în fizică. Spre deosebire de trăirile și senzațiile personale, cum ar fi visurile sau durerea, știința este o cunoștință care — în principiu cel puțin — este de natură socială, în sensul că poate fi împărtășită de un mare număr de oameni. De aici rezultă preferința pentru enunțuri făcute într-o formă valabilă pentru mari grupuri de eventuali observatori.** După cum vom vedea, principiul relativității este o expresie a acestei preferințe.

[1] Richard Arkwright (1732—1792), inventatorul războiului de țesut mecanic *(N.T.)*.

2

Metoda ştiinţifică şi unele concepte ce rezultă din ea

S-au spus multe despre metoda ştiinţifică şi i-au fost aduse numeroase omagii care nu întotdeauna erau rezultatul unei bune informări. Metoda ştiinţifică nu este — cum credea Bacon — un drum larg care duce la descoperiri în munca de cercetare. Ea este mai degrabă un ansamblu de recomandări, unele de ordin general, altele de ordin special, care pot contribui la orientarea exploratorului în drumul său prin jungla faptelor aparent arbitrare. Cercetarea ştiinţifică este o artă, şi pentru cel ce practică o artă regulile, dacă sînt prea rigide, pot să facă mai mult rău decît bine. De fapt, ştiinţele se deosebesc atît de mult între ele încît nu e lucru uşor să găseşti o regulă care să li se poată aplica tuturor, fără excepţie.

Unele ştiinţe — cum ar fi fizica, astronomia şi genetica — pot recurge în mare măsură la matematică, nu numai pentru a demonstra justeţea observaţiilor efectuate, dar chiar şi pentru a propune teorii. În alte ştiinţe, ca în botanică de pildă, nu s-a putut pînă acum aplica această metodă, şi nici nu prea văd cum ar putea fi aplicată. Unele ştiinţe, cum ar fi fizica şi fiziologia, se pretează foarte bine la experimentare, pe cînd în altele,

de pildă în astronomie şi geologie, experimentul este practic imposibil, cercetătorul trebuind să se bizuie pe observaţiile sale fără a avea posibilitatea de a modifica condiţiile obiectelor pe care le cercetează. În unele ştiinţe, clasificarea joacă un rol foarte importat — în altele, ea este relativ inexistentă. În unele, măsurătorile precise sînt posibile şi importante, pe cînd în altele este greu să găseşti de măsurat ceva ce ar avea vreo semnificaţie fundamentală pentru problema supusă cercetării. **Încercînd să rezumăm ceea ce metoda ştiinţifică are comun pentru toate ştiinţele, vom constata că există într-adevăr unele cerinţe evidente: o atitudine de imparţialitate, hotărîrea de a lua în considerare toate posibilităţile rezonabile, dorinţa de a depune orice eforturi pentru a fi exact, ori de cîte ori acest lucru este posibil. Este, de asemenea, necesar să nu ne prea lăsăm influenţaţi de idei preconcepute.** Aceste cerinţe sînt însă valabile şi pentru alte îndeletniciri intelectuale care nu pretind a fi ştiinţe, ca de pildă dreptul. În plus, unele din cerinţele de mai sus nici nu sînt esenţiale. În ştiinţă, controversele au fost adesea înverşunate şi nu întotdeauna au fost duse cu corectitudinea necesară, dar, în ansamblu, ele au constituit contribuţii la progresul cunoaşterii şi nu stavile. Într-adevăr, ştiinţa implică observaţii foarte precise şi multă atenţie pentru amănunte, dar, ca şi în alte preocupări omeneşti, această atenţie poate fi dusă pînă la exagerări. Ca în orice profesiune, esenţială este o selectare judicioasă a faptelor. Un om de ştiinţă trebuie să ştie să modifice sau chiar să abandoneze o teorie la care ţine, dacă faptele sînt împotriva ei.

Omul de ştiinţă trebuie să creadă că în natură există o anumită ordine raţională, dar el nu trebuie să presupună că natura ar fi supusă unui determinism total[1].

[1] Autorul desemnează prin termenul „determinism" acel tip de determinism cunoscut la noi sub denumirea de „determinism absolut" sau „mecanicist", categorie corespunzătoare unei etape depăşite a gîndirii ştiinţifice şi filozofice. Concepţia modernă, dialectică a determinismului — pe care, în ciuda terminologiei folosite, o împărtăşeşte şi autorul — integrează armonios şi legile statistice care guvernează fenomenele ce au loc în domeniul „celor mai profunde niveluri ale materiei" *(N.T.)*.

Vom vedea, într-adevăr, că există temeiuri serioase pentru a presupune că determinismul nu are o răspîndire generală și că, probabil, el nu se extinde și asupra celor mai profunde niveluri ale materiei. Cu toate acestea, însăși existența științei se bizuie pe presupunerea că există suficientă regularitate în desfășurarea evenimentelor pentru ca să fie posibile predicții valabile.

Pe de altă parte, în istorie — așa cum este studiată în mod obișnuit — acest lucru rămîne discutabil. Nu este de loc sigur că concluziile la care am ajunge prin studiul evului mediu sau chiar al secolului al XVIII-lea ar constitui — cu oricîtă grijă ar fi fost trase aceste concluzii — un îndreptar util pentru epoca noastră. Dar acest lucru nu diminuează cu nimic valoarea istoriei, după cum nu ar diminua nici valoarea unui poem epic. El nu înseamnă altceva decît că istoria nu este o știință[1].

Ca și toate artele, știința are nevoie de imaginație. Ea a fost necesară în primul rînd pentru ca omul să-și dea seama că există lucruri ce trebuie descoperite. Foarte de timpuriu, el a observat că mișcarea stelelor prezintă regularități ce ar putea fi studiate și că aceste regularități ar putea avea o importanță, dar a trebuit să treacă o vreme destul de îndelungată pentru ca el să-și dea seama că pe Pămînt există fapte importante despre care s-ar putea arăta că se supun unor legi precise. Apariția științei experimentale în epoca Renașterii, deși în parte favorizată de creșterea impetuoasă a interesului pentru cultura vechilor greci, a fost, după cum am arătat în primul capitol, stimulată și de marile descoperiri geografice din acea perioadă; aceste descoperiri au deschis mintea oamenilor față de posibilitățile pe care le oferă necunoscutul. De imaginație este nevoie și pentru a

[1] Aici se observă o anumită limitare a concepției autorului despre știință (din care s-ar părea că exclude științele sociale sau în orice caz istoria) și despre determinism. Înțelegînd că regularitatea ce se manifestă în domeniul fenomenelor naturii implică lărgirea conceptului de cauzalitate dincolo de cadrul îngust al mecanicismului, el se oprește totuși în fața fenomenelor sociale, unde nu vede manifestarea unui nou tip de cauzalitate *(N.T.)*.

recunoaște noul. Trebuie să subliniez încă o dată *importanța faptului sau fenomenlui banal*, dar nu este deloc un lucru ușor să depistezi banalitatea cu adevărat importantă.

Trecînd de la aceste generalități la știința fizicii, vom constata că metoda științifică implică frecvente și migăloase experiențe, efectuate în condiții cît mai simple cu putință — deși adesea nu este nicidecum evident ce anume trebuie înțeles prin condiții simple și s-ar putea chiar ca ele însele să constituie obiect de cercetare. După efectuarea experiențelor, rezultatele brute necesită de obicei o analiză matematică, folosindu-se ca îndreptar teoriile sau ipotezele existente în acel moment. Cu cît aceste teorii sînt mai generale — cu alte cuvinte, cu cît vor conține mai puține prezumții specifice —, cu atît va fi mai bine pentru această primă analiză. Dar întotdeauna vor exista unele prezumții, iar dacă acestea sînt greșite, analiza s-ar putea dovedi lipsită de valoare. În orice caz, în primele etape ale cercetării, experiențele au un caracter de încercare. Dacă este vorba de o cercetare fundamentală, ea va urmări formarea unor concepte sugerate de experiențe, apoi, cu ajutorul acestor concepte vor fi elaborate ipoteze, teorii și legi. În aceste stadii se cer adesea oameni care diferă ca pregătire și talente. Deosebirea dintre cei trei termeni pomeniți mai sus este una de accent; nu este vorba de o deosebire de esență, ci mai curînd de o deosebire în gradul de certitudine ce le este atribuit în mintea cercetătorului.

Unele concepte sînt deduse aproape direct din experiență, ca de pildă lungimea, timpul sau temperatura, dar în aproape toate cazurile conceptul experimental inițial va trebui să sufere modificări. În capitolul 5 vom analiza mai în amănunt cum s-a produs acest lucru în cazul timpului. O extindere oarecum similară a avut loc și în cazul temperaturii. Cu ajutorul unui termometru de sticlă cu mercur putem măsura într-o largă gamă de condiții ceva care poate fi calificat drept „temperatură". Dacă se depune o grijă deosebită în producerea sticlei și în confecționarea și gradarea termometrului, cu acest instrument pot fi măsurate, cu o foarte bună reproductibilitate, temperaturi cu mult sub punctul de înghețare a apei și cu mult peste punctul ei de fierbere normal. Tem-

peraturi măsurate cu ajutorul a diferite termometre cu aceleași caracteristici tehnice vor da întotdeauna aceleași rezultate și este clar că avem de-a face cu ceva semnificativ. Pe de altă parte, dacă vom compara termometre construite în feluri diferite, la care a fost de pildă folosit alcool în loc de mercur, vom constata — chiar dacă sînt în așa fel reglate încît să indice aceleași valori pentru punctele de înghețare și de fierbere a apei — că ele vor prezenta față de termometrele cu mercur mici deosebiri, atît înăuntrul cît și în afara celor două puncte-limită. Pentru fizician acest fenomen înseamnă fie că „temperatura" nu este o mărime cu adevărat fundamentală, fie că ceea ce măsoară el nu e decît o aproximație a entității reale. Dezvoltarea termodinamicii în secolul al XIX-lea a arătat că această din urmă presupunere este cea corectă.

Se poate defini o temperatură care să fie independentă de proprietățile vreunei substanțe și să fie obiectivă — cu excepția unității de măsură, aceasta din urmă fiind arbitrară, în același sens în care sînt arbitrare yardul sau metrul. La conceptul de „temperatură absolută" s-a ajuns pornindu-se de la randamentul motoarelor termice. Cînd un motor primește căldură, el funcționează, apoi, printr-un proces ciclic, elimină din nou căldura — diferența dintre căldura primită și cea eliminată fiind egală cu energia pe care motorul o produce sub formă de lucru mecanic. Pentru moment vom face abstracție de pierderile cauzate de frecare și de alte cauze similare. Cele de mai sus pot fi enunțate astfel: atît căldura cît și lucrul mecanic sînt, ambele, forme de energie și, cu toate că o formă poate fi transformată în alta, cantitatea totală de energie rămîne neschimbată. Dar partea din energia inițială care poate fi transformată în lucru mecanic este limitată. Această parte reprezintă randamentul motorului. El nu se apropie niciodată de 100%, oricît de bun ar fi motorul din punct de vedere mecanic: există o limită precisă care depinde de temperatura *sursei* de căldură — în cazul motorului termic, cazanul de fierbere de unde primește căldura — și temperatura corpului spre care este eliminată căldura — în cazul motorului termic, condensatorul. Un raționament simplu, bazat pe premisa că o mișcare perpetuă nu este posibilă, arată

că, dacă există o asemenea limită, ea trebuie să fie independentă de substanța folosită. Măsurîndu-se randamentele, motorul poate fi apoi folosit pentru a *defini* temperaturi care sînt absolute, în sensul că nu depind de proprietățile vreunei substanțe anume. De fapt o asemenea scară de temperatură nu diferă foarte mult de scara care măsoară temperatura între anumite limite, fie cu ajutorul unui termometru de sticlă cu coloană de mercur, fie cu ajutorul unor termometre bazate pe expansiunea altor substanțe. În plus, chiar fără a construi motoare ideale, putem calcula corecțiile ce trebuie aplicate — cel puțin unora dintre aceste termometre — pentru a transforma scara lor într-o scară absolută.

Exemplul de mai sus este destul de tipic pentru modul în care se dezvoltă un concept. Se începe prin citirea efectivă a unui anumit instrument, apoi este posibil să se arate că aceste citiri pot fi modificate pentru a se obține un rezultat care nu mai depinde de comportamentul unei anumite piese a aparatului.

În felul acesta s-a trecut de la un fenomen particular — în cazul nostru expansiunea mercurului datorită căldurii — la un concept mult mai general decît l-ar presupune în mod logic acest gen de experiență.

Uneori, pentru a se ajunge la formarea unui concept este necesar să fie combinat un mare număr de experiențe foarte diferite. Vom avea prilejul să vedem asemenea exemple atunci cînd vom discuta despre electron și nucleu. În asemenea cazuri **convingerea că un concept, așa cum a fost el gîndit, corespunde unei realități obiective, cu alte cuvinte că are o existență efectivă, devine o ipoteză importantă.**

Anumite concepte sînt la origine mai mult matematice decît experimentale. Un exemplu este acela al haosului molecular. Comportamentul gazelor poate fi cel mai bine explicat (capitolul 6) presupunîndu-se că ele sînt alcătuite din molecule care se mișcă în toate direcțiile cu o viteză întîmplătoare, energia mișcării fiind măsura temperaturii gazului. Se presupune, de asemenea, că aceste molecule se ciocnesc în permanență între ele, precum și de pereții vasului care conțin gazul respectiv. Impulsul pe care aceste ciocniri îl dau pereților consti-

tuie ceea ce măsurăm ca fiind presiunea exercitată de gaz asupra pereților recipientului. Această concepție a haosului molecular, folosită de Maxwell și Boltzmann, a fost mult timp doar o ipoteză matematică. Cu ajutorul tehnicii experimentale moderne putem detecta mișcarea moleculelor care ies printr-o mică gaură practicată în peretele vasului ce conține gazul și astfel aflăm cîte ceva despre distribuția lor. Concepția inițială a fost însă matematică și teoria cinetică a gazelor era destul de avansată încă înainte de a fi fost posibil să se detecteze mișcări individuale. *Pentru a elabora concepte de acest fel și a trage din ele concluzii verificabile prin experiență, trebuie să recurgem la teorie.*

Majoritatea conceptelor sînt aproximative, cum este cazul cu razele de lumină despre care am vorbit mai sus. Uneori aproximația este foarte bună, mai ales în acele cazuri, destul de numeroase, cînd ea se bazează pe faptul că atomii și moleculele sînt foarte mici și că, prin urmare, în orice porțiune din orice substanță de dimensiuni moderate există într-un număr foarte mare. Să luăm, de pildă, conceptul de *„suprafață a unui corp solid"* și să vedem care este aproximația acestui concept față de o suprafață matematic plană. În realitate, o asemenea suprafață constă — în cel mai bun caz și chiar dacă este cît mai simplă cu putință — dintr-un număr de atomi așezați într-un model regulat. Suprafața nu este netedă în accepția geometrică a termenului. Dacă am privi printr-un instrument care mărește extrem de mult, atomii ne-ar apărea sub forma unor grămezi asemănătoare unui șir de căpițe pe cîmp, „suprafața" nefiind decît o medie; dar nici chiar în felul acesta suprafața nu este perfect definită, deoarece atomii nu au margini precis conturate, ci reprezintă mai degrabă regiuni în care exercită forțe sporite asupra a tot ce încearcă să pătrundă în ei. În această privință ei se aseamănă mai curînd cu niște mingi de tenis cu învelișul plușat decît cu niște bile de biliard. Cu toate acestea, noțiunea de „suprafață solidă" este extrem de utilă dacă atunci cînd o folosim sîntem perfect conștienți de limitele ei. Cîteva dintre conceptele existente azi ar putea să corespundă unei realități ultime, dar acest lucru rămîne de dovedit și ar fi surprinzător

dacă vreunul dintre ele ar supraviețui fără să sufere modificări substanțiale, chiar dacă și-ar păstra denumirea și utilitatea.

Se afirmă uneori că electronii nu sînt „reali". E adevărat că ei se comportă cu totul altfel decît firicelele de nisip, dar este îndoielnic dacă sînt mai puțin reali decît acestea din urmă sau decît alte obiecte mai complexe, cum ar fi un creion, de pildă. Sîntem atît de obișnuiți să folosim denumirea și ideea de „creion", încît trebuie să depunem un efort considerabil pentru a ne da seama că de fapt avem de-a face cu un concept destul de artificial, că ceea ce percepem în realitate este un șir de impresii cu caracter diferit. Pe retină sînt percepute pete de culoare de diferite luminozități, apoi, printr-un proces foarte fin și complicat, acestea sînt interpretate în creier ca fiind un corp solid, lung, cu o secțiune hexagonală și cu un vîrf conic de o culoare puțin deosebită de rest. Aceste impresii optice sînt întărite de impresii tactile transmise de degetele care țin obiectul în cauză, precum și de alte impresii optice ce emană de la anumite semne negre lăsate pe hîrtie, semne asociate cu vîrful creionului. Din toate aceste percepții, noi construim conceptul căruia îi dăm denumirea de creion. E greu de văzut vreo deosebire fundamentală între acest proces și acela din care deducem electronii.

Relația dintre un concept și realitatea pe care o reprezintă este oarecum asemănătoare cu aceea dintre o hartă plană și o parte a Pămîntului. *Harta nu încearcă să reproducă iregularitățile minore ale suprafeței. Chiar dacă indică liniile de contur, este cert că ea ignoră mușuroaiele de cîrtițe. În mod corespunzător, conceptul din fizică este idealizat și simplificat, omițîndu-se efectele exterioare deformante care în practică există întotdeauna. Mai există și o altă similitudine, și anume aceea că o hartă plană este în mod necesar o deformare a oricărei părți mai întinse a suprafeței Pămîntului, ca urmare a faptului că noi nu putem încovoia o bucată de hîrtie fără să o împăturim sau să o rupem dacă vrem ca ea să corespundă unei sfere. După cum am mai spus, majoritatea conceptelor sînt aproximații. În plus, putem avea mai multe hărți diferite ale aceleiași părți a Pămîntului, de pildă o proiecție Mercator*

sau o hartă în care unor suprafețe egale de pe Pămînt să le corespundă suprafețe egale pe hartă. Dar fiecare dintre ele poate fi o hartă conformă cu realitatea, în sensul că fiecare consemnează toate orașele, toți munții, toate rîurile etc. din regiunea respectivă, și anume în ordinea corectă, în așa fel încît ceea ce este învecinat în realitate să fie învecinat și pe hartă. **Harta reflectă cîte ceva din dorințele celui care a întocmit-o, dar este departe de a fi o invenție și poate fi corectă sau greșită chiar și în amănunte.** *Ea nu are voie să așeze orașul Manchester în Spania și nici Oxford Circus la sud de Piccadilly.*

Conceptele bune au o mare capacitate de a crește dincolo de experiențele inițiale care le-au dat naștere, ceea ce, cred, este unul din lucrurile care îl conving cel mai mult pe fizicianul de rînd de „realitatea" conceptelor respective. Existența atomilor, de pildă, a fost sugerată de Dalton la începutul secolului al XIX-lea pentru a explica regularitățile observate nu cu mult timp înainte de către chimiști în greutățile relative ale diferitelor substanțe care alcătuiesc compușii. Aceste fapte experimentale au putut fi explicate prin presupunerea că compușii sînt alcătuiți din molecule, iar fiecare moleculă la rîndul ei conține un număr redus de atomi de diferite feluri. A fost un concept care conținea o ipoteză ce depășea cu mult faptele experimentale și a trebuit să treacă aproape un secol pentru ca în sprijinul ei să apară o mărturie de un fel cu totul diferit. De atunci, aceste mărturii s-au înmulțit rapid. Felul cum sînt așezați atomii în corpurile solide cu structură cristalină este foarte precis cunoscut în urma experiențelor efectuate cu radiațiile Roentgen, despre care, într-un anumit sens, se poate spune că „văd" atomii. Aceștia se aglomerează cu o mare regularitate pentru a forma modele ce se repetă. În chimia organică s-a constatat apoi treptat că reacțiile care au loc arată că în diferitele feluri de molecule atomii sînt dispuși în anumite aranjamente precise. Atomii apropiați unii de ceilalți pot intra mai repede în reacție cu o altă moleculă decît alții mai îndepărtați. Dovezile — deși oarecum indirecte — sînt numeroase. Acum nimeni nu s-ar mai aventura, firește, să se îndoiască măcar o

clipă de realitatea atomilor și în împrejurări favorabile ei pot fi chiar văzuți cu un microscop electronic.

Un foarte important grup de legi ale fizicii este clasificat sub denumirea de „legi de conservare". Una din legile de conservare afirmă că unele concepte măsurabile — energia, de pildă — sînt, cel puțin pînă la un punct, permanente. Legile de conservare pot fi exprimate și în alt fel, spunîndu-se că, de pildă, energia nu poate fi nici creată, nici distrusă. Ele devin exemple ale unui grup mai larg — așa-numitele „principii de imposibilitate". Aceste principii sînt numeroase — cum ar fi, de exemplu, imposibilitatea de a construi o mașină cu mișcare perpetuă sau imposibilitatea ca un obiect material să se deplaseze mai repede decît lumina, ceea ce constituie baza relativității restrînse. Formularea este, desigur, în parte, o chestiune de gramatică; ea depinde și de alegerea făcută în ce privește modul de enunțare a unei asemenea legi; rămîne totuși unul din cele mai izbitoare fapte ale fizicii că atît de multe rezultate dintre cele mai importante pot fi cu ușurință exprimate în acest mod.

Și acum cîteva cuvinte despre teorii.

În fizică teoria este un enunț, de obicei sub formă matematică, al unor relații existente între anumite concepte sau, cum se exprimă filozoful austriac Karl Popper, o teorie există pentru a i se demonstra... netemeinicia. Teoria face anumite preziceri despre ceea ce se va putea observa în anumite condiții date — condiții ce pot fi create în mod artificial în laborator sau care se ivesc în fenomenele naturale. Dacă cele prezise nu pot fi observate, atunci teoria este greșită și trebuie abandonată sau, cel puțin, modificată. Dacă sînt observate, teoria capătă credit, iar dacă prezicerile se împlinesc în numeroase și variate cazuri, ea începe să dobîndească autoritate, dar există întotdeauna posibilitatea de a se demonstra că este greșită și este aproape o certitudine că vor putea fi găsite unele condiții speciale în care teoria nu se aplică, condiții în care ea fie că nu poate oferi un răspuns, fie că dă un răspuns greșit. **Din punct de vedere logic nu este niciodată posibil să se dovedească justețea unei teorii, deoarece niciodată nu poate fi verificată prin expe-**

rienţă întreaga gamă a cazurilor posibile pe care teoria afirmă că le-ar cuprinde.

„Unitatea naturii" este o expresie adesea auzită. S-a spus, şi pe bună dreptate, că această „unitate" nu a fost niciodată descoperită într-un laborator, căci, într-adevăr, aparatura de laborator are prostul obicei de a se comporta într-un mod cu totul irațional, de parcă ar fi pus diavolul stăpînire pe ea, şi este sarcina experimentatorului — şi încă una foarte grea — de a o îmblînzi şi a o obliga să se comporte într-un mod cît de cît uniform.

Dar chiar dacă facem abstracţie de aceste considerente de ordin practic, există o imposibilitate teoretică de a repeta vreodată o experienţă făcută şi de a fi astfel în situaţia să putem afirma că experienţe identice dau rezultate identice. Într-un experiment ideal există — sau este cel puţin de sperat să existe — un observator şi o anumită aparatură, totul complet izolat de restul universului, căci dacă nu ar fi izolat ar trebui să se ţină seama şi de restul universului, ceea ce ar complica în asemenea măsură lucrurile încît orice experienţă ar deveni imposibilă. În practică însă, experimentatorul va admite, cu destulă neplăcere, că există anumite influenţe de ordin general pe care le exercită lumea exterioară. Aşa, de pildă, dacă experienţa este efectuată pe Pămînt, va fi prezentă gravitaţia. Aceasta din urmă este o forţă permanentă de care se poate ţine seama cu destulă uşurinţă şi care în general nu complică prea mult problema. Radiaţiile cosmice sînt un factor caracterizat printr-o anumită neregularitate, deci greu de eliminat cu totul. În marea majoritate a experienţelor nimeni nu le ia în seamă, şi aceasta din motive perfect valabile. Din chiar teoria de la care se porneşte pentru a explica ce anume se întîmplă rezultă că radiaţiile cosmice nu pot avea nici o influenţă asupra fenomenului respectiv. Dar tocmai în aceasta constă dificultatea: **pentru ca o experienţă să fie semnificativă trebuie să avem o teorie despre ceea ce este important pentru experienţa respectivă.** Numai în felul acesta se poate spera ca experienţa să fie decisivă, fără să mai vorbim de faptul că ea trebuie să fie şi repetabilă. Cînd oamenii vorbesc despre „repetarea unei experienţe",

ei înţeleg prin aceste cuvinte că se poate face ceva care, potrivit teoriei, ar trebui să dea acelaşi rezultat ca acela obţinut anterior. Condiţiile nu se repetă însă niciodată întru totul. Pentru a lua un caz concret: omul de ştiinţă din zilele noastre porneşte de la premisa că singurele efecte ale Lunii pe care trebuie să le ia în considerare sînt lumina ei şi acţiunea ei asupra mareelor. Dar pentru un astrolog din secolul al XVII-lea — cînd astrologia mai era încă o ştiinţă demnă de tot respectul — o asemenea premisă nu ar fi părut prin nimic justificată. El ar fi spus că e de foarte mare importanţă dacă Luna este în creştere sau în descreştere, precum şi poziţia planetelor. Aceste păreri nu aveau nimic nelogic sau neştiinţific pînă în momentul cînd un mare număr de observaţii au arătat că majoritatea experienţelor pot fi repetate indiferent de poziţia planetelor. Şi s-ar putea spune că a fost un adevărat noroc, căci planetele nu se întorc niciodată exact în aceeaşi poziţie, şi dacă influenţa exercitată de ele ar fi fost întotdeauna importantă, nici o experienţă nu ar fi putut fi repetată vreodată! *Fapt este însă că s-a dovedit posibil să se construiască teorii despre felul cum se produc anumite evenimente observabile, teorii corespunzătoare în sensul că dacă condiţiile cerute de teorie sînt îndeplinite, consecinţele observate trebuie să fie — cu un anumit grad de aproximaţie — cele prezise.* **Acest lucru demonstrează importanţa teoriilor, chiar şi a celor mai embrionare, în toate etapele de cercetare. Dacă nu dispui de o teorie care să-ţi spună ce anume este primordial, nu este posibil să organizezi o experienţă şi — cu atît mai puţin — să o dirijezi.**

Similitudinea cu harta mai are şi un alt aspect. În fiecare caz cînd o teorie este folosită pentru a prezice cum anume se va desfăşura o experienţă sau cum se va comporta o maşină şi de fiecare dată cînd o experienţă este folosită pentru a verifica o teorie, este necesar un proces care poate fi descris ca „o dublă translaţie". În cazul hărţii, cineva trebuie mai întîi să deseneze o hartă care să reprezinte regiunea respectivă, apoi harta este folosită pentru a identifica obiectele care corespund munţilor, cursurilor de apă şi pădurilor indicate pe hartă. Cu alte cuvinte, harta este o transpunere a regiunii res-

pective pe hîrtie, iar folosirea ei constituie o retranspunere de pe hîrtie în realitate. La fel se întîmplă și cu teoria. Pe baza observațiilor și experiențelor efectuate anterior construim o teorie ce poate fi aplicată acelui gen de lucruri de care ne ocupăm. Este, de obicei, o teorie matematică și îmbracă forma unei ecuații între anumite mărimi. Pentru a o aplica unui caz concret introducem în ecuații diferite cifre care reprezintă dimensiunile aparaturii, greutățile, temperaturile și tot ceea ce teoria consideră important. Învîrtim apoi manivela mașinii matematice, trebuind adesea să folosim drept lubrifiant aproximații destul de îndrăznețe și, dacă avem noroc, din mașină va ieși răspunsul la întrebarea noastră. Se va constata că anumite simboluri au anumite valori cifrice — poate valoarea zero. Acum trebuie să transpunem ceea ce am aflat în ceea ce se poate observa efectiv. Uneori transpunerea poate fi ușoară. Simbolul poate, de pildă, să reprezinte curentul dintr-un anumit fir metalic conectat la un ampermetru; atunci este de ajuns să citim indicația ampermetrului pentru a ști dacă teoria este confirmată sau dacă e greșită. În practică lucrurile sînt atît de simple numai în cazul unor teorii oarecum prozaice. Teoriile mai abstracte oferă de obicei un răspuns legat în mai mică măsură direct de experiență și este necesar un calcul subsidiar pentru a face legătura dintre răspunsul dat de teoria principală și — după caz — citirea unei scale, unghiul dintre două urme de pe o placă fotografică sau viteza unui aeroplan. Principiul este însă același. *Teoria este o hartă care îți spune cum arată o regiune. Pentru a o folosi trebuie să identifici căror lucruri efectiv văzute sau simțite le corespund semnele de pe hartă.*

A fost o vreme cînd s-a pus prea mult accent pe latura cantitativă a fizicii. Măsurătoarea și, drept urmare, folosirea matematicii sînt unelte extrem de puternice, dar pînă la urmă testele hotărîtoare sînt în esență cele calitative. Cînd executăm proiectul unui avion este util să-i putem calcula viteza, dar adevăratul test al avionului este ca avionul să te ducă la New York înainte ca prietenii tăi să fi obosit așteptîndu-te sau, dacă este un avion militar, ca pilotul să se înapoieze nevătămat din misiune, iar adversarul lui — nu. Același lucru este valabil și

în cazul științei pure. Putem întotdeauna elabora o teorie, ba chiar multe teorii, care să explice fapte cunoscute și uneori să și prezică altele noi. Testul are însușiri estetice. Unele teorii sînt greoaie, limitate ca sferă de aplicație și arbitrare. Ele au rareori o viață lungă.

S-a scris încă foarte puțin despre latura estetică a conceptelor și teoriilor științifice. Estetica lor nu este exact aceeași ca estetica matematicii, atît de bine descrisă de Hardy în genialul său eseu *A Mathematician's Apology*[1], dar unele asemănări există. **În ambele domenii contează foarte, foarte mult generalitatea și simplitatea.** Tot ceea ce s-a introdus în mod evident pentru ca teoria să se potrivească, cum ar fi anumite mărimi numerice, reprezintă un cusur, dar acest cusur se poate transforma într-un element de frumusețe dacă se poate demonstra că există o legătură între această mărime și o mărime dintr-o teorie general acceptată referitoare la un alt domeniu. *Fizica se deosebește de matematică prin aceea că orice progres important este mai probabil să implice un concept nou, chiar dacă nu este decît de ordin secundar.* **Există școli ale bunului gust științific, la fel cum există școli ale bunului gust în artă.** Pentru mulți fizicieni esențial este ca teoria să fie intuitivă, ca ea să se bizuie pe idei ce pot fi prezentate vizual. Altora, a căror minte este mai abstractă, mai matematică, acest lucru nu li se pare necesar; unii pot merge chiar atît de departe încît să considere astfel de însușiri drept un dezavantaj. În aceste cazuri, locul reprezentării intuitive, vizuale îl ia o riguroasă definire a conceptelor și o argumentare riguros logică. Acest din urmă mod de prezentare este admisibil pentru acele probleme care pot fi complet rezolvate. În cazul numeroaselor probleme care nu pot fi întru totul rezolvate, acest gen de expunere te lasă însă complet descumpănit, în timp ce teoriile mai intuitive îți oferă de obicei, în linii mari, o idee despre ceea ce va fi soluția, mai ales atunci cînd posezi o oarecare experiență în materie de probleme similare, dar mai ușoare și care pot fi efectiv rezolvate. **În fizică și în matematică se consideră deosebit**

[1] G. Hardy, *Crezul meu? Matematica!*, în colecția „Orizonturi" nr. 13 *(N.T.)*.

de frumoasă o teorie care poate împăca fenomene aparent diferite, arătînd că ele sînt strîns legate unele de altele sau chiar că reprezintă aspecte diferite ale aceluiași fenomen. Așa, de pildă, Maxwell a arătat cum perfecționarea legilor electricității — perfecționare datorită căreia aceste legi au căpătat un caracter mai general — a permis totodată să se explice lumina cu ajutorul noțiunilor din domeniul electricității și să se stabilească viteza ei corectă prin măsurători pur electrice. Ceva similar reprezintă și teoria lui Newton din care rezultă că și Luna cade, la fel ca mărul.

Frumusețea unei experiențe se datorește în primul rînd faptului că este astfel concepută încît să pătrundă în miezul problemei și să pună o întrebare la care natura este dispusă să dea un răspuns. *Ceea ce admirăm la experiența propriu-zisă este economia de efort, adică de a nu voi să faci mai mult decît ceea ce este strict necesar pentru succesul experienței, iar în al doilea rînd — ingeniozitatea detaliilor. Ca în toate realizările artistice, calitățile estetice trebuie susținute prin aptitudini tehnice, în caz contrar experiența nu va da răspunsul la întrebarea ce i-a fost pusă. Pentru un tînăr cercetător, această latură a activității experimentale este cea mai evidentă.*

James Clerk Maxwell (1831-1879)

James Clerk Maxwell era originar din Lowland. Familia Clerk din Penicuik, Midlothian, era o veche și respectată familie venită în regiune din Aberdeenshire pe vremea reginei Maria Tudor. Numele de Maxwell a fost adăugat celui de Clerk relativ recent, datorită unor înrudiri pe linie feminină. Bunicul lui James nu-l purta încă. Odată cu adoptarea numelui de Maxwell, familia a intrat și în posesia unei moșii, din care la nașterea lui James mai rămăsese un petic de pămînt la Kirkudbrightshire și o casă la Glenhair. Aici și-a petrecut James copilăria și tot aici s-a întors cînd a ajuns în pragul bătrîneții. Mama lui a murit cînd copilul avea opt ani. Tatăl lui, de care-l lega o mare prietenie, era un om cu

mult bun simț și manifesta un viu interes pentru orice progres ce putea fi util. El l-a îndemnat pe băiat să lucreze manual și să deseneze.

James a urmat școala la Edinburgh, unde locuia la niște rude, iar la vîrsta de șaisprezece ani a intrat la universitate. A avut norocul să urmeze una din puținele universități unde încă de pe vremea aceea se efectuau în fizică lucrări practice, cel puțin la cursul profesorului Forbes, cu care tînărul Maxwell s-a împrietenit. A învățat să strunjească și a confecționat un „diavol-pe-două-bețe", cum i se spunea pe timpul acela viitorului joc „diabolo"[1], al cărui mosor-sfîrlează era un obiect greu din lemn negru. La vîrsta de nouăsprezece ani a plecat la Cambridge, unde a urmat cursuri de matematică, deoarece pe vremea aceea fizica abia începea să fie recunoscută drept o disciplină aparte, iar studiul ei începea cu matematica.

Studenții facultăților de fizică din zilele noastre îl cunosc pe Maxwell mai ales pentru lucrările lui în domeniul teoriei cinetice și pentru ecuațiile lui electromagnetice. De fapt, el a realizat mult mai mult, inclusiv o anumită activitate experimentală, dar lucrările teoretice ale lui Maxwell sînt mult mai importante decît cele experimentale.

El nu a fost întemeietorul teoriei cinetice, adică al concepției că un gaz este alcătuit dintr-un foarte mare număr de particule care gonesc în toate direcțiile, lovindu-se unele de altele, precum și de pereții vaselor care le conțin; această teorie datează încă din secolul al XVII-lea. Dar el a fost primul care a văzut posibilitatea ca în acest haos să domnească totuși o anumită ordine. El a demonstrat matematic că *tocmai pentru că* mișcările și ciocnirile sînt haotice distribuția energiei între particule

[1] Jocul „diabolo" se joacă cu ajutorul unui fir de ață foarte rezistent, legat de capetele a două bețe pe care jucătorul le ține în mîini, și a unui mosor-sfîrlează care este făcut să se rotească cu ajutorul firului. Mosorul-sfîrlează are forma a două trunchiuri de con lipite unul de altul la capetele lor subțiri. Cînd mosorul-sfîrlează a ajuns să se rotească foarte repede, el este aruncat în sus și apoi din nou prins pe firul de ață ș.a.m.d. *(N.T.)*.

este precisă și poate fi calculată. Așa, de pildă, numărul particulelor avînd o energie cinetică de două ori mai mare decît media reprezintă 8,3% din total, iar cele cu o energie de trei ori mai mare decît media — numai 2,5% din total. Iregularitatea haotică a generat o lege. Și mai surprinzător este poate faptul că legea nu depinde de natura particulelor sau de forța pe care o exercită unele asupra celorlalte. În anumite limite ea exprimă o proprietate fundamentală a materiei în stare de echilibru. Teoria cinetică este singurul domeniu al fizicii din secolul al XIX-lea în care este necesară ideea de probabilitate, care a ajuns astăzi să aibă o însemnătate atît de mare. Maxwell era conștient de acest caracter ciudat al teoriei sale. El a inventat un „demon", presupus a ședea lîngă ușa unui perete care separă două vase conținînd gaz la aceeași temperatură. Ori de cîte ori o moleculă extrarapidă vine din dreapta, el deschide ușa; tot astfel cînd o moleculă extralentă vine din stînga. Altfel ține ușa închisă. Dat fiind că temperatura măsoară energia medie, la stînga peretelui temperatura va crește, iar la dreapta lui va scădea. Acest fenomen este în totală contradicție cu principiile termodinamicii, potrivit cărora crearea unei asemenea diferențe nu este posibilă decît dacă există o sursă exterioară de energie mecanică, chimică sau de altă natură. „Demonul" își desfășoară însă activitatea exclusiv cu ajutorul inteligenței, forța pe care trebuie să o exercite putînd fi cu totul neglijabilă.

Ecuațiile lui Maxwell reprezintă o formulare sintetică a legilor fundamentale ale electricității și magnetismului. Ele au rezistat remarcabil de bine testului vremii. Deși au fost reinterpretate pentru a corespunde teoriei cuantice și a ține seama de electroni, ele continuă să fie indispensabile. Fizicienii moderni care se ocupă de fizica teoretică nu știu ce înseamnă respectul față de personalități și cu atît mai puțin față de teoriile lor, dar pînă și acești teoreticieni ezită să se atingă de ecuațiile lui Maxwell.

Resimți un adevărat șoc cînd descoperi că Maxwell a ajuns la aceste ecuații ca rezultat al unor considerente care implică un model complicat alcătuit din turbioane reprezentînd forța magnetică, separate de particule care

joacă rolul unor pinioane inactive dintr-un angrenaj de roți dințate și funcționînd totuși ca un fel de electricitate! Dacă astăzi ni s-ar prezenta o asemenea lucrare, am arunca o privire asupra ei și apoi, fără să șovăim, am arunca-o la coș. Înainte de a formula însă concluzia finală, Maxwell a înlăturat aproape întregul mecanism mai sus arătat. Rezultatul a fost o teorie pe care contemporanii săi au considerat-o complicată și arbitrară. Teoria și-a croit cu greu drumul, dar a atras atenția cîtorva oameni, printre ei numărîndu-se tatăl meu[1] și Heaviside[2], care au contribuit ca ea să fie cunoscută de cercuri largi de fizicieni. Ea nu a încetat totuși să stîrnească obiecții decît în momentul cînd Hertz a găsit pe cale experimentală undele care-i poartă numele.

Maxwell a fost primul profesor de fizică experimentală la noul Laborator Cavendish, construit prin generozitatea ducelui de Devonshire (el însuși pe timpul studenției sale premiant la matematică). Cînd Maxwell a fost numit profesor, laboratorul încă nu exista și a trecut cîtăva vreme înainte ca el să se poată apuca de lucru. O mare parte din eforturile sale a trebuit să le consacre cumpărării de aparate, banii fiind puși la dispoziție de către duce. Maxwell a putut declara că laboratorul dispune de „toate instrumentele necesare în actualul stadiu al științei". De vreme ce a spus-o, așa trebuie să fi fost — dar îmi amintesc că tatăl meu zicea că pentru perioada următoare nu s-ar mai fi putut face o asemenea afirmație cu privire la Laboratorul Cavendish.

O bună parte din timp Maxwell și l-a petrecut la Cambridge publicînd lucrările lui Cavendish, ceea ce a considerat ca o datorie de pietate. Henry Cavendish a fost un membru al familiei ducelui. A trăit în secolul al XVIII-lea și a fost un nobil excentric dar genial. N-a publicat decît două lucrări, și acestea datorită unor motive speciale, dar a lăsat un material extrem de vast. Maxwell a reușit să arate că, de fapt, în domeniul electro-

[1] Thomson, J.J. (1856—1940), laureat al Premiului Nobel *(N.T.)*.

[2] Heaviside, Oliver (1852—1925), fizician englez, descoperitorul ionosferei *(N.T.)*.

staticii, Cavendish anticipase majoritatea descoperirilor făcute în decurs de cincizeci de ani de la moartea sa. Editarea lucrărilor lui Cavendish, îngrijită de Maxwell, constituie un model pentru istoriografii științei, dar nu mă pot împiedica să nu regret timpul pe care l-a cheltuit cu îndeplinirea acestei sarcini.

Nu trebuie să credeți că Maxwell ar fi fost una din personalitățile solemne caracteristice epocii victoriene. Poate că nici ele nu erau atît de solemne cît ne par nouă astăzi, dar un asemenea calificativ este cu siguranță ultimul ce i se poate aplica lui. Avea un simț înnăscut al umorului, iar acesta și-a găsit expresia în fel și chip — în schițele cu care își ilustra scrisorile pe care le trimitea acasă, în versuri umoristice, cu toate că a scris și unele foarte serioase. Parodia sa la *Coming through the Rye* (Venind prin secară) a lui R. Burns a supraviețuit.

Umorul său s-a manifestat pînă și în fizică. Cine altul decît el ar fi fost în stare să dea portarului său molecular denumirea de „demon"? Și azi îl numim tot „demonul lui Maxwell".

A murit în ziua de 5 noiembrie 1879.

Puțini sînt oamenii în aprecierea cărora să existe o asemenea unanimitate. Trebuie să fi fost o personalitate înzestrată cu un farmec deosebit — atît faptele lui cît și impresiile oamenilor concordă în această privință. A fost un fiu bun, un soț devotat, un prieten loial și înțelegător. În raporturile lui cu oamenii a dat dovadă de dezinteresare și de multă bunătate. Era profund religios și avea o fire foarte rezervată, cu excepția acelor rare împrejurări cînd socotea de datoria lui să iasă din această rezervă sau cînd se afla în societatea unor prieteni foarte intimi. Din scrisorile publicate de Lewis Campbell în lucrarea sa *Life* reiese că religiozitatea lui Maxwell, rezultat al unor serioase și profunde meditări, izvora dintr-o convingere intelectuală, dar, desigur, nu numai din aceasta.

3

Din ce sînt alcătuite lucrurile?

I. Atomii

Dacă privim obiecte materiale obișnuite — o bucată de lemn sau o piatră, un cui sau apa dintr-o găleată — și ne întrebăm din ce sînt ele alcătuite, răspunsurile posibile se împart în două mari categorii. Se poate spune că, deși lemnul este în mod vădit alcătuit din fibre, iar piatra din fire de nisip care într-un fel sau altul sînt unite unele de celelalte, această structură nu este decît o structură grosieră, de primă vedere; dacă vom proceda la o cercetare mai aprofundată, vom găsi cîteva substanțe omogene, fiecare din ele uniformă și putînd fi divizată la infinit, diviziune limitată exclusiv de finețea instrumentelor de care dispunem. Dar s-ar mai putea de asemenea spune — cel puțin de cînd Leucip, primul atomist, a avut această idee cîndva, în secolul al V-lea î.e.n. — că toate aceste corpuri sînt alcătuite dintr-un foarte mare număr de mici corpuri solide, atomii, care pentru fiecare bucată de materie în parte pot fi, eventual, de mai multe feluri.

Știința modernă este, în covîrșitoarea ei majoritate, de partea atomiștilor, dar de la Leucip încoace, și mai

ales în ultimii șaptezeci de ani, conceptul de atom s-a schimbat mult.

Pînă la sfîrșitul secolului trecut mai era posibil — deși tot mai greu — să consideri atomii ca o ipoteză, ce-i drept, utilă, dar care la un moment dat ar putea fi înlăturată și de care ar trebui să se facă uz cu prudență. Exponenții acestei păreri erau „puriștii" rigurozității științifice. Timp de aproape un secol chimiștii folosiseră atomii fără să se sinchisească de un asemenea „purism". Iar concepția excesiv de precaută s-a transformat într-un simplu pedantism în momentul cînd, pe căi diferite, a devenit posibil să se observe atomi și chiar părți ale atomilor. Faptul existenței unor părți de atomi separabile constituie o modificare substanțială a ideii inițiale, iar această modificare a părut extrem de revoluționară cînd, ca rezultat al unei serii de experiențe, publicate în decurs de doi ani începînd din mai 1897, J.J. Thomson a prezentat pentru prima dată o dovadă indubitabilă a existenței lor. De fapt, Democrit și Epicur, urmașii lui Leucip, au vorbit și ei destul de amănunțit despre „părțile" atomilor, dar aceste „părți" nu erau gîndite ca fiind separabile. Deși înțelesul original al cuvîntului atom este acela de „ceea ce nu poate fi divizat", termenul a fost păstrat, lucru de altfel foarte înțelept. Nu numai fiindcă schimbarea lui ar fi fost cît se poate de inoportună, dar mai ales pentru faptul că atomul modern ocupă în teorie mult mai bine locul pe care-l aveau atomii lui Leucip decît recent descoperitele lui componente, cum ar fi electronii sau protonii.

Ar fi nevoie de întreaga carte pentru a expune în mod inteligibil **dovezile care au dus la conceptele moderne de molecule, atomi, electroni sau nuclee și componentele acestora. Mă voi mărgini** *la încercarea de a prezenta aceste dovezi în două cazuri speciale; pentru rest voi enunța doar concluziile.*

Pe Pămînt, în mod normal, există 90 de feluri de atomi. Analiza luminii venite de la Soare și stele ne arată că în spațiul cosmic regăsim majoritatea acestor atomi și nu alții. Fiecare poartă un nume și este considerat a fi un „element". Ca exemple vom cita: hidrogenul, carbonul, oxigenul, sodiul, aluminiul, sulful, clorul, fierul,

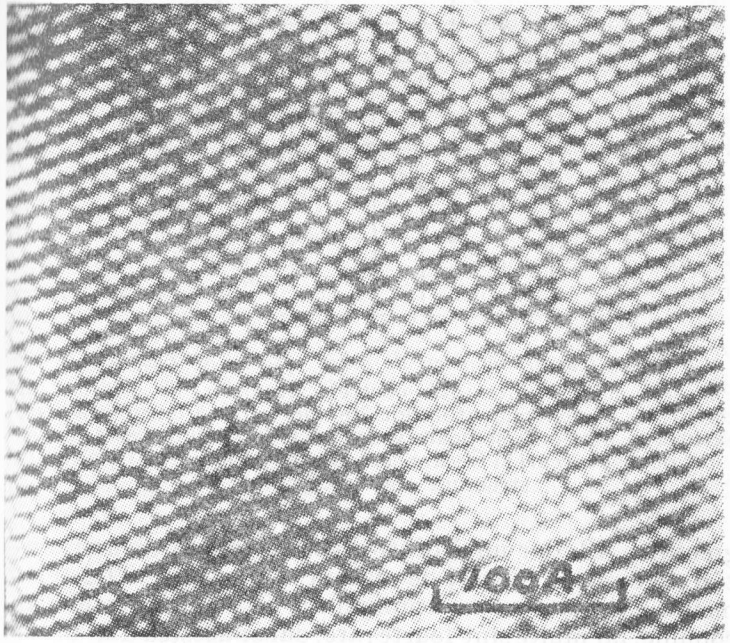


Fig. 1 Cum sînt aranjați atomii în aur și în cupru. Imaginea reprezintă o fotografie directă — obținută cu ajutorul unui microscop electronic — a două pelicule foarte subțiri, de aur și de cupru, suprapuse. În ambele metale, așezarea atomilor este aceeași, dar distanța dintre ei este ceva mai mare în cazul aurului decît în acela al cuprului. În consecință, cele două modele nu se suprapun perfect. Acest model „combinat" este suficient de mare pentru a fi vizibil, ceea ce nu ar fi cazul pentru modelele individuale ale fiecăruia dintre cele două metale în parte. G.A. Bassett, J.W. Menter and D.W. Pashley („Proc. Roy. Soc.", A 246, 345—68, 1958).

cuprul, staniul, aurul, radiul. În majoritatea cazurilor, atomii unui element sînt de diferite feluri, formînd cîteva „subspecii". Fiecare subspecie poartă denumirea de „izotop" și este de obicei notată printr-un număr întreg care reprezintă cu aproximație greutatea relativă a izotopului respectiv. Astfel, „carbon 13" este denumirea unui izotop rar al carbonului; majoritatea atomilor de carbon au

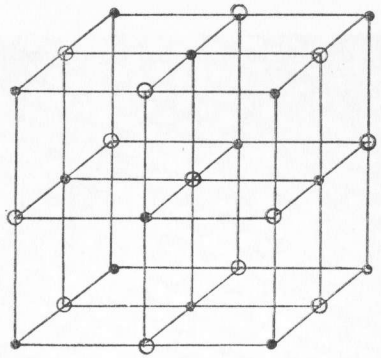


Fig. 2 Structura clorurii de sodiu (sarea de bucătărie).
Punctele negre reprezintă centrele atomilor de sodiu, iar cercurile — centrele atomilor de clor. Dacă structura este extinsă la nesfîrșit, se poate vedea că fiecare punct este înconjurat de șase cercuri și fiecare cerc de șase puncte, cu alte cuvinte structura este reciprocă.

greutatea 12, dar unul dintr-o sută este mai greu și cîntărește circa 13 unități de măsură. Dintre cele 90 de elemente existente[1], doar aproximativ 30 sînt într-adevăr comune, iar multe sînt foarte rare, dar și acestea din urmă sînt tot mai adesea folosite în tehnică și numai cîteva sînt astăzi complet nefolosite. În această privință natura a luat-o înaintea omului, deoarece s-a constatat că pentru anumite varietăți ale materiei vii este necesar un număr destul de mare de elemente rare. Se știe că unele pășuni din Australia au nevoie de un adaos de cobalt; tot astfel, în prezent se crede că lipsa seleniului este cauza unei boli de care suferă oile.

Dintre aceste 90 de elemente, unele sînt radioactive, ca de pildă radiul. Atomii acestor elemente sînt nestabili și se descompun, transformîndu-se în altele. Astfel, jumătate din atomii unei bucăți de radiu se descompun în

[1] Autorul are în vedere elementele care se găsesc în natură. Dacă se ține seama și de elementele sintetizate artificial, numărul total al elementelor cunoscute a ajuns pînă în prezent la 105 *(N.T.)*.

decurs de 1 590 de ani. Și totuși numărul atomilor de radiu existenți pe Pămînt nu se schimbă aproape deloc. Ei sînt înlocuiți de atomii produși din descompunerea unor atomi și mai grei care, la rîndul lor, provin din alți atomi și, în ultimă instanță, din uraniu sau toriu, care, deși de asemenea nestabili, au o viață atît de lungă încît mai există și astăzi o mare parte din cantitățile existente la începutul Pămîntului, acum probabil patru miliarde de ani. Atomii mai grei decît uraniul pot fi produși pe cale artificială și toți — într-o măsură mai mare sau mai mică — sînt nestabili. Unul dintre ei, plutoniul, a căpătat o mare importanță militară ca material necesar producerii de bombe. În plus, toate elementele pot avea izotopi radioactivi (și deci nestabili), iar prepararea lor a dobîndit o importanță comercială.

Toate substanțele conțin impurități; chiar germaniul și siliciul special preparați pentru fabricarea tranzistorilor conțin cîteva miliardimi de procente de impurități, dar acestea constituie urme neglijabile. Substanțele ce pot fi considerate pure se împart în două categorii — elemente și compuși. Într-un element — neglijînd și aici urmele de impurități — atomii aparțin cu toții aceleiași specii, dar numai în cazuri foarte speciale aparțin și aceleiași subspecii. Dintre metale, de pildă, cuprul, argintul, aurul și fierul sînt elemente, iar dintre nemetale — grafitul (carbonul), sulful și iodul. Pe de altă parte, apa, sarea, acidul sulfuric și acetona sînt compuși tipici. Într-un compus cu structură normală există grupuri de atomi, denumite molecule, fiecare grup fiind identic cu celelalte. De pildă, fiecare moleculă de vapori de apă conține cîte doi atomi de hidrogen și unul de oxigen, molecula fiind notată prin formula H_2O. Moleculele sînt cel mai clar definite atunci cînd substanța se află în stare gazoasă. În lichide ele se pot aglomera în grupuri de cîte două sau trei, iar în multe corpuri solide nici nu există molecule propriu-zise, ci numai aranjamente regulate de atomi. Așa, de pildă, sarea are un număr egal de atomi de sodiu și de clor, astfel încît fiecare atom de sodiu are în jurul său șase atomi de clor așezați în colțurile unui octaedru imaginar, al cărui centru îl con-

stituie sodiul și, invers, fiecare atom de clor are în jurul său șase atomi de sodiu așezați în mod asemănător.

Dar în cazul fiecărui compus autentic proporția dintre atomi rămîne aceeași, respectiv atîți atomi de un anumit fel față de atîți atomi de alt fel. Compușii pot conține diferite feluri de atomi, dar întotdeauna în aceleași proporții. Această lege a proporțiilor numerice definite dintre atomi reprezintă, virtual, definiția unui compus autentic. Soluțiile — cum ar fi aceea de sare în apă — sînt, în anumite privințe, o stare intermediară între compușii autentici și amestecurile grosolane, cum a fost vechiul praf de pușcă negru, făcut dintr-un amestec de pulbere fină de azotat de potasiu, sulf și carbon. În asemenea amestecuri fiecare părticică individuală a substanțelor componente poate fi văzută la microscop, dar oricît de mult ar fi mărită o picătură de saramură, ea va apărea întotdeauna ca un lichid omogen. În această privință, ea se comportă ca un compus din sare și apă, fără a fi însă un compus autentic, deoarece sarea se poate afla în apă în orice proporție pînă la saturarea acesteia din urmă. În schimb, unele solide, cum ar fi carbonatul de sodiu (soda de rufe), sînt compuși autentici formați dintr-o sare și apă — în cazul sodei de rufe, o moleculă de carbonat de sodiu la zece molecule de apă. Unele aliaje, ca de pildă aliajele dintre argint și aur, se comportă ca soluțiile, altele sînt compuși autentici.

O foarte importantă categorie de compuși o constituie compușii organici. Termenul acesta a fost folosit inițial pentru a desemna compușii derivați din țesuturi care au fost cîndva materie vie. În prezent, prin compuși organici se înțeleg acei compuși care conțin carbon. Astăzi cel mai comun punct de plecare al acestor compuși este țițeiul, care cu foarte mulți ani în urmă s-a format poate din animale marine, dar care a pierdut orice urmă a originii sale. Unii compuși organici, cum ar fi gazul metan, cu cinci atomi în fiecare moleculă, și metanolul, cu șase atomi, sînt destul de simpli, dar mulți dintre cei mai importanți pentru materia vie sînt de o mare complexitate. Hemoglobina și mioglobina, două proteine a căror structură a fost recent elucidată de către Perutz și Kendrew din Cambridge[1], au fiecare aproximativ 10 000, respectiv 2 500 de atomi. Pe cît se pare, fiecare dintre acești atomi, aranjați în subgrupe, are un loc bine precizat în moleculă, iar dacă în sîngele unui animal sau al unui om una din aceste subgrupe este înlocuită prin alta, foarte similară, dar avînd unul sau doi atomi schimbați, rezultatul poate fi o boală mortală.

Proteinele sînt cele mai complexe molecule identificate pînă în prezent și, poate, cele mai complexe dintre moleculele esențiale pentru viață, dar un număr imens de molecule mai puțin complicate au fost studiate, analizate și reproduse pe cale sintetică. Nu există o deosebire esențială între compușii din organismele vii și cei din restul lumii, cu excepția faptului că unele dintre moleculele vii sînt de o mai mare complexitate. În decursul cercetărilor pe care le-au efectuat, chimiștii nu au găsit numai din cîți atomi de fiecare fel sînt alcătuite moleculele diferitelor substanțe, dar și cum anume sînt aranjați acești atomi. În majoritatea cazurilor moleculele sînt construite din atomi, așa cum o clădire este construită din cărămizi; în unele cazuri însă există și părți mobile, așa încît molecula alternează între două configurații, oarecum la fel cum o minge moale din cauciuc poate fi deformată ca să formeze un fel de cupă, pentru ca apoi să revină la forma ei inițială. Aranjamentul atomilor este uneori confirmat de felul în care dispersează radiațiile Roentgen.

Cînd te ocupi de atomii din molecule și cristale ești în mod inevitabil izbit de felul prozaic, aproape banal, în care se comportă. Ei stau efectiv stivuiți — dacă nu chiar ca obuzele de tun, cel puțin ca niște mingi de tenis. Fiecare atom tinde să ocupe un spațiu bine determinat. Ce-i drept, ei pot fi întrucîtva comprimați, dar dacă comprimarea este prea mare ea afectează stabilitatea structurii, fie ea cristal sau celulă organică. Din păcate, după cum vom vedea mai jos, această comportare plină de „bun simț" nu este urmată și de electroni, ba chiar, în

[1] Pentru descifrarea structurii moleculare a două proteine — hemoglobina și mioglobina —, acești doi savanți au fost distinși cu Premiul Nobel pentru chimie pe anul 1972 *(N.T.)*.

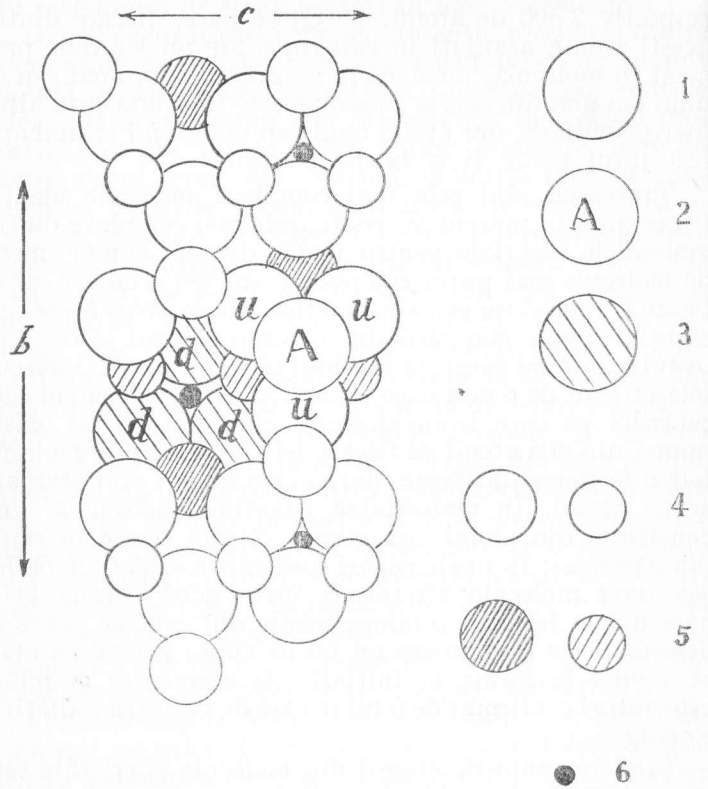


Fig. 3 Element de structură al unui silicat tipic: monticelita ($MgCaSiO_4$).

Figura arată cum atomii mai mari de oxigen adăpostesc între ei atomi mai mici de calciu, magneziu și siliciu. 1 — Atomii de oxigen așezați aproape în planul hîrtiei. 2 — Atomii de oxigen așezați într-un plan aflat deasupra planului hîrtiei. Ei au fost incluși pentru a evidenția grupuri de tetraedre. 3 — Atomii de oxigen așezați sub planul hîrtiei. 4 — Atomii de Ca și Mg aflați pe stratul de oxigen de tipul (1). 5 — Atomii de Ca și Mg aflați sub stratul de oxigen. 6 — Atomii de Si.

anumite împrejurări speciale, chiar atomii se pot comporta foarte ciudat.

Descoperirea electronului marchează începutul unei noi ere în fizică, *iar procesul acestei descoperiri este suficient de tipic pentru marile descoperiri ca să merite a fi descris mai în amănunțime. În anii de după 1897 s-au întîlnit și s-au contopit două idei diferite. Una datează din prima perioadă a gîndirii grecești, înainte chiar de Leucip — ideea unui element universal din care sînt făcute toate lucrurile. Cealaltă s-a dezvoltat treptat în secolul al XIX-lea, și anume ideea că electricitatea este împărțită în unități naturale.*

După multă vorbărie confuză despre „efluvii", știința secolului al XIX-lea s-a hotărît să considere electricitatea ca fiind un fluid sau poate chiar două fluide. Pe vremea aceea, metoda normală de a produce electricitate era frecarea. Mai tîrziu, cînd Galvani și Volta au descoperit curentul electric produs de acțiunea chimică în elemenți — asemănători în principiu bateriilor uscate din lanternele noastre electrice — efectele chimice ale electricității au trecut pe primul plan.

În deceniul al patrulea al secolului trecut, Faraday a studiat modificările chimice ce se produc atunci cînd un curent trece prin soluții ale diferitelor săruri, cum sînt acelea folosite în galvanizare. El a denumit acest proces electroliză. A măsurat cantitățile de gaze și corpuri solide care se produc pe cele două plăci denumite electrozi, acolo unde curentul intră în soluție și acolo unde iese. Faraday a descoperit existența unor relații simple între greutățile relative ale substanțelor produse de un anumit curent într-un anumit timp și greutățile relative ale acelorași substanțe atunci cînd se combină pentru a forma compuși. El a constatat că curentul scindează compusul în două părți componente, fiecare dintre ele fixîndu-se la unul din electrozi; cantitatea descompusă este proporțională cu cantitatea de electricitate care a trecut prin soluție, adică proporțională cu produsul dintre curent și timp. Era ca și cum compușii ar fi descompuși moleculă cu moleculă, iar fiecare moleculă ar fi descompusă în două părți, fiecare dintre ele avînd o sarcină de

electricitate, fie „pozitivă", fie „negativă"[1]. Mișcarea acestor sarcini ar constitui deci curentul care trece prin soluție, la fel cum mișcarea unui număr de picături de apă constituie un șuvoi sau un curent de apă; aceasta era reprezentarea general admisă.

Dar dacă așa stau lucrurile, atunci relațiile găsite de Faraday între curentul care trece prin soluție și proporția dintre materialele produse la cei doi electrozi înseamnă că sarcinile jumătăților pozitive ale majorității moleculelor sînt egale între ele. Acest rezultat este valabil și pentru jumătățile negative. În anumite cazuri sarcina fiecărei jumătăți este exact de două ori sau de trei ori sarcina normală. Aceste „jumătăți de molecule" sînt uneori alcătuite dintr-un singur atom, arareori dintr-un grup de atomi. Atît atomii cît și grupurile de atomi pot avea o sarcină normală sau una multiplă. În orice caz, masa fiecărei jumătăți de moleculă este asociată cu o anumită sarcină. Raportul *e/m* (sarcina împărțită la masă) este caracteristic pentru felul respectiv de atomi sau grup de atomi. Lucrul acesta apare astăzi ca o dovadă foarte puternică în favoarea presupunerii că sarcinile electrice sînt alcătuite din anumite sarcini-unități. Dar dacă ele sînt alcătuite din unități în cazul acestor atomi și grupuri de atomi din soluții, de ce sarcinile nu ar fi întotdeauna alcătuite din unități? Deși oamenii și-au dat seama de această posibilitate, ei nu i-au atribuit prea multă importanță. Marile succese repurtate de fizică în secolul al XIX-lea au fost realizate mai ales datorită conceptului de continuitate, atomii fiind lăsați pe seama chimiștilor. Faraday însuși, și după el Maxwell, erau în mai mare măsură preocupați de ceea ce se petrece în spațiul dintre două corpuri electrizate decît de natura „sarcinilor" pe care aceste corpuri erau presupuse a le poseda. În această concepție sarcinile aveau o realitate destul de îndoielnică și se putea ca pînă la urmă ele să se dovedească a nu fi decît o denumire pentru modul în care se

[1] Termenii de electricitate pozitivă și negativă trebuie înțeleși aici pur și simplu ca denumiri pentru două feluri de electricitate.

realizează acea legătură dintre procesele electrice din eter și materie prin care ele devin observabile.

Spre sfîrșitul secolului trecut s-a produs însă o schimbare în concepțiile asupra acestui cerc de probleme. Marele fizician olandez Lorentz a formulat o teorie a electricității în care sarcinii i se acorda o mai mare importanță. El a folosit termenul de „electron" pe care Johnstone Stoney — care subliniase importanța dovezii rezultată din electroliză — îl inventase în 1891. Și Lorentz a asociat sarcinii o masă; cu zece ani mai înainte J.J. Thomson arătase că o sarcină produce în mod automat o masă suplimentară care va fi cu atît *mai mare* cu cît este mai mic corpul purtător al sarcinii. Pînă în acel moment nu exista însă o dovadă experimentală.

Cealaltă jumătate a acestei istorii este aceea a radiațiilor catodice. Acestea sînt produse atunci cînd un curent electric trece printr-un gaz cu o presiune joasă corespunzătoare. De obicei, gazul se afla într-un balon de sticlă avînd fixați în perete electrozi metalici prin care intra, respectiv ieșea curentul. Catodul — după cum e denumit în mod convențional electrodul „negativ" — emană un fascicul de radiații, slab vizibile în gaz, dar care produce o pată luminoasă de fluorescență atunci cînd radiațiile ajung la sticlă. În mod normal ele se propagă în linie dreaptă, dar pot fi cu ușurință deviate dacă lîngă tub se așază un magnet. Pentru ca fenomenul să poată fi observat este necesar un vid destul de înaintat. Descoperirea acestor radiații la mijlocul secolului al XIX-lea se datorează perfecționării aduse pompelor de vid.

La începutul ultimului deceniu al secolului trecut s-a iscat o foarte vie controversă cu privire la natura radiațiilor catodice. O școală de gîndire — reprezentată mai ales în Anglia și Franța — a fost de părere că sînt particule proiectate din catod de către forța electrică; cealaltă școală — reprezentată mai ales în Germania — socotea că aceste radiații sînt o nouă formă de unde. Abia în 1927 s-a demonstrat că ambele școli aveau dreptate, dar deocamdată ne mai ocupăm încă de perioada de la mijlocul ultimului deceniu al secolului trecut.

Ambele școli prezentau dovezi la fel de importante. Cu puțin timp în urmă, Hertz descoperise undele radio,

prezise de Maxwell, și undele pluteau în aer — atît în sens metaforic cît și în sens literal. La Heidelberg, Lenard trimisese radiațiile în atmosferă acoperind o parte din tub cu o fereastră din metal foarte subțire. Radiațiile au trecut prin această fereastră, deși fereastra nu avea nici un fel de gaură și nu permitea nici o scurgere în vidul tubului. Fenomenul părea greu de explicat dacă radiațiile ar fi fost particule, căci pe vremea aceea nimeni nu se gîndea încă că ar putea exista ceva mai mic decît atomul.

Pe de altă parte, la Paris Perrin arătase că dacă, exact înainte de a lovi peretele, radiațiile sînt captate într-un vas metalic corespunzător, ele transmit vasului o sarcină negativă. Acest fapt era în concordanță cu devierea magnetică la care te puteai aștepta — atît ca direcție cît și ca grad de deviere — de la un flux de particule încărcate cu electricitate negativă. Dar Hertz trimisese în gaz un fascicul de radiații între două plăci de metal paralele și apoi conectase plăcile la polii unei baterii electrice. Nu se întîmplase nimic, deși particulele electrizate ar fi trebuit să fie împinse lateral de forța electrică dintre plăci și deci să fie deviate.

J.J. Thomson a adus o oarecare îmbunătățire experienței lui Perrin, arătînd că ea dă același rezultat chiar dacă radiațiile sînt deviate pe cale magnetică. El a măsurat și devierea magnetică și a arătat că este independentă de natura gazului aflat în tub, precum și de metalul din care este confecționat catodul, cu condiția ca voltajul să rămînă neschimbat. Acest fapt vorbea în favoarea teoriei particulelor, cu condiția ca acestea să fie universal-identice. J.J. Thomson a fost impresionat de acest caracter universal al radiațiilor catodice. Lenard constatase încă mai înainte că o absorbție egală de radiație este cauzată de mase egale de materie, indiferent de compoziția chimică a acesteia. Acest fenomen nu semăna deloc cu un efect atomic care ar trebui să depindă de chimie; s-ar potrivi însă cu o particulă — sau cu un *corpuscul*, cum îi spunea Thomson — adusă în stare de repaus prin ciocnirea cu numeroși alți corpusculi similari ai materiei, de același gen pentru toate substanțele, iar numeric proporționali cu masa pe care au traversat-o. Apoi, reușind să obțină un vid mai avansat, a putut

explica rezultatul obținut de Hertz, rezultat care constituie cel mai puternic argument împotriva teoriei că radiațiile ar fi particule electrizate. Într-un vid suficient de înaintat, radiațiile sînt de fapt deviate de un cîmp electric.

Faptul că Hertz nu obținuse vreun rezultat s-a datorat unui efect secundar. Trecînd prin gazul rezidual, radiațiile scindaseră unele molecule într-un mod analog descompunerii acestora într-o soluție, fiecare jumătate avînd o sarcină electrică. Acești ioni — cum sînt denumiți —, fiind încărcați, sînt atrași spre plăcile electrizate, în apropierea cărora formează un strat care neutralizează în parte sau total efectul electric, chiar la o depărtare foarte mică. Convins că radiațiile sînt particule, Thomson a măsurat apoi prin două metode raportul dintre masă și sarcina electrică. Cam în același timp această mărime a fost estimată și de către alți cercetători, dar metodele folosite de ei ori nu ofereau drept rezultat decît limite între care putea varia mărimea, ori presupuneau acceptarea unor ipoteze greu de justificat. Metodele folosite de Thomson au permis obținerea unor rezultate suficient de concordante din care reieșea că, indiferent de gaz sau de catod, raportul dintre sarcină și masă este de aproximativ o mie de ori mai mare decît cel pe care-l constatase Faraday pentru hidrogenul produs prin electroliză. Hidrogenul, elementul cel mai ușor, este cel pentru care raportul este cel mai mare.

A doua dintre cele două metode ale lui Thomson de măsurare a raportului e/m folosea recent descoperita deviere prin cîmpuri electrice. Incidental, acest aparat a fost dezvoltat ulterior, devenind „osciloscopul catodic", probabil instrumentul cel mai larg folosit de către cei ce lucrează azi în domeniul electronicii.

Thomson a ajuns la concluzia că corpusculii săi sînt mult mai ușori decît orice atom cunoscut și constituie o parte componentă universală a materiei. Cu cîteva luni în urmă, tînărul fizician danez Zeeman repetase una din experiențele lui Faraday, ultima efectuată de către acesta din urmă. Experiența urmărea să examineze într-un spectroscop lumina emisă de o flacără de sodiu și să stabilească dacă un puternic cîmp magnetic aplicat flăcării modifică în vreun fel cele două linii subțiri galbene —

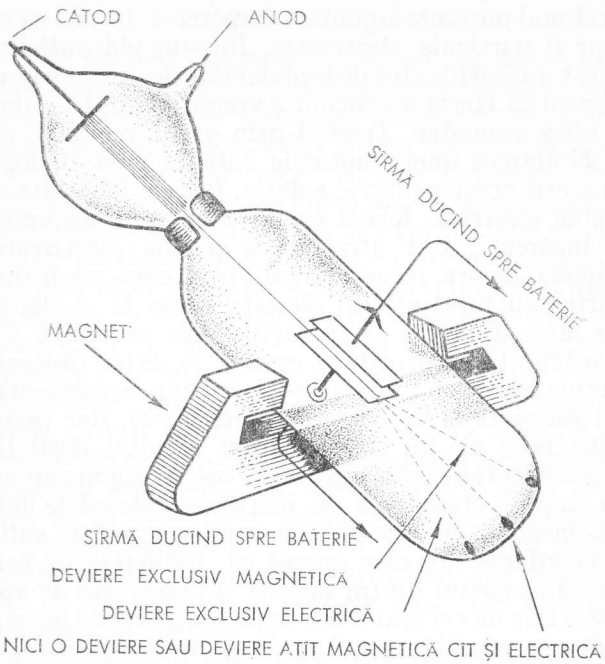


Fig. 4 Experiența efectuată de J.J. Thomson pentru determinarea raportului e/m (sarcină/masă).
Cîmpul electric dintre plăci este dat de voltajul bateriei. Cîmpul magnetic este măsurat printr-o experiență auxiliară. Viteza radiațiilor este obținută prin egalarea celor două devieri.

foarte apropiate — care corespundeau luminii respective în spectroscop. Faraday nu observase nici o modificare. Folosind un magnet mai puternic și o tehnică mai bună, Zeeman a observat că liniile deveneau mai puțin clare. La o examinare mai minuțioasă au ieșit la iveală și alte modificări ale luminii. Zeeman l-a consultat pe Lorentz, care a explicat efectul prin teoria sa despre electroni. Pornind de la ideea că electronii sînt sursa luminii, în baza observațiilor efectuate de Zeeman el a putut calcula pentru electron raportul dintre masă și sarcină, ajungînd la aproximativ același rezultat ca în cazul radiațiilor catodice.

Dar în ciuda acestei confirmări obținute dintr-un cu totul alt domeniu al fizicii, ipoteza era departe de a fi dovedită și, de fapt, numai foarte puțini fizicieni îi acordau crezare. Dovezile s-au înmulțit însă repede. Din punct de vedere matematic, raportul mic existent între masă și sarcină putea fi la fel de bine explicat printr-o sarcină mare sau printr-o masă mică. Mai erau cunoscuți și alți ioni existenți în gaze. Thomson și Rutherford dovediseră cu un an în urmă, la scurt timp după descoperirea radiațiilor Roentgen, că conductivitatea pe care aceste radiații o creează în gaze se datorează unor ioni. C.T.R. Wilson descoperise că norii artificiali se condensează de preferință pe acești ioni, cîte o picătură pe fiecare. Acest rezultat Thomson l-a folosit pentru a măsura sarcina unui ion de radiații Roentgen. Rezultatul la care a ajuns a fost aproximativ cel scontat pentru ionii Faraday în soluții, dar sarcina nu a putut fi stabilită decît cu aproximație. Cîteva luni mai tîrziu, Townsend a fost în măsură să demonstreze — printr-o metodă indirectă, dar foarte precisă — că, de fapt, sarcinile ionilor Faraday și ale radiațiilor Roentgen sînt identice. Dar radiațiile catodice nu sînt radiații Roentgen, cu toate că ambele dau naștere la ioni. A fost practic imposibil să se măsoare sarcina unei radiații catodice individuale; nici acum nu ar fi un lucru prea ușor, dar nu este exclus să existe și alte surse de corpusculi. Se mai cunoșteau alte două căi prin care electricitatea negativă putea ajunge în vid: fie dintr-un fir metalic încins, fie atunci cînd lumina ultravioletă iradia o placă de zinc. Thomson a măsurat pentru fiecare din aceste cazuri raportul masă/sarcină pentru purtătorii de electricitate negativă și a găsit că este același ca pentru radiațiile catodice. În cel de-al doilea caz a putut măsura și sarcina. El a fost de acord cu ceilalți fizicieni că acum se făcuse dovada completă a existenței unor particule cu sarcină electrică, mult mai ușoare decît orice atom și putînd proveni dintr-o mare varietate de substanțe.

Fusese descoperită o componentă comună a materiei. Ideea emisă de greci că există un element universal se dovedise corectă.

Această descoperire exemplifică foarte bine variatele cerințe ce se pun cercetării în domeniul fizicii. Un fizician nu trebuie să aibă numai o cunoaștere semiintuitivă a naturii, ci trebuie să poată prezenta dovezi experimentale, dovezi care însă nu totdeauna trebuie luate drept bune. Dacă are o teorie, el trebuie să-i poată da o formă matematică și să imagineze un aparat capabil să dea rezultate numerice care să poată fi comparate cu teoria lui fără să fie nevoie să se recurgă și la alte presupuneri sau, dacă acest lucru nu este posibil, să se recurgă numai la un minimum de asemenea presupuneri. Dar chiar și așa, succesul sau eșecul pot depinde de priceperea fizicianului de a perfecționa tehnica experimentală, aducîndu-i îmbunătățiri care, la prima vedere, s-ar putea să nu pară de mare importanță.

În definitiv, s-ar fi putut spune că vidul folosit de Hertz și de alții era perfect suficient pentru producerea de radiații catodice — de ce ar mai fi fost nevoie de o îmbunătățire a acestui vid?

De atunci încoace, electronii constituie un concept fundamental cu ajutorul căruia este explicată materia, dar odată cu trecerea timpului acest concept a suferit numeroase schimbări. Unele dintre aceste schimbări vor fi expuse în capitolul 9. Voi vorbi aici numai pe scurt despre perioada care a trecut între descoperirea electronilor și descoperirea de către Rutherford a nucleului atomic — cea de-a doua descoperire pe care voi încerca să o descriu mai în amănunțime în acest capitol.

Curînd deveni evident că deși un electron are o masă mai mică decît 1/1 000 din cel mai ușor atom (în realitate raportul este de circa 1/1 838); într-un atom nu sînt nici pe departe 1 000 de electroni. Trei metode, destul de rudimentare, de apreciere a numărului electronilor au arătat că acesta este ordinul greutății atomice convenționale a atomului respectiv. De fapt, el este mai mic decît jumătatea acestei greutăți. Carbonul — cu o greutate atomică de 12 (pentru cel mai comun izotop) — are șase electroni; uraniul, cu izotopul cel mai comun avînd o greutate atomică de 238, posedă 92 de electroni. De aici rezultă că electronii nu reprezintă decît o mică parte din masa atomului. De asemenea, că electronii au o sarcină electrică denumită în mod convențional „negativă".

Dat fiind că sarcini de același fel (negative, de pildă), se resping, o materie alcătuită exclusiv din electroni ar exploda cu o violență uriașă (de fapt, nici nu ar putea exista). Trebuie deci să existe o componentă cu sarcină pozitivă care să neutralizeze electronii, și această componentă ar putea reprezenta diferența dintre masa atomului și aceea a electronului, sau cel puțin o mare parte din ea. Descoperirea acestei componente nu a avut un caracter atît de senzațional ca aceea a electronului, dar treptat s-au acumulat mărturii care indicau existența unui rest al atomului de hidrogen după îndepărtarea unui electron — și existau temeiuri foarte serioase pentru a presupune că acest atom, cel mai ușor dintre toți, nu are decît un singur electron. Oricum, nimeni nu găsise o sarcină pozitivă mai mică decît aceea a acestui rest, iar principala dificultate consta în faptul că greutățile atomice găsite de chimiști nu erau numere întregi, multipli ai greutății atomului de hidrogen. Dificultatea aceasta s-a ivit din cauza faptului că izotopii nu fuseseră încă descoperiți, iar greutățile chimice reprezentau media pentru diferiții izotopi ai elementului respectiv, izotopii fiind virtual imposibil de separat prin mijloace chimice. Astfel, clorul, de pildă, are o greutate atomică chimică de circa 35,5 — unitatea de măsură constituind-o hidrogenul. În greutatea de 35,5 sînt incluși atomi cîntărind aproape 35 și alții, mai puțin numeroși, cu o greutate relativă de circa 37; greutatea medie ponderată a amestecului de atomi este de 35,5, adică cifra pe care au găsit-o chimiștii.

Chiar dacă admitem că masa și sarcina pozitivă se datorau unor componente ale hidrogenului rămase după separarea unui electron — și pe care le voi denumi în continuare protoni —, era foarte nesigur cum anume sînt distribuiți acești protoni sau electroni în volumul atomului.

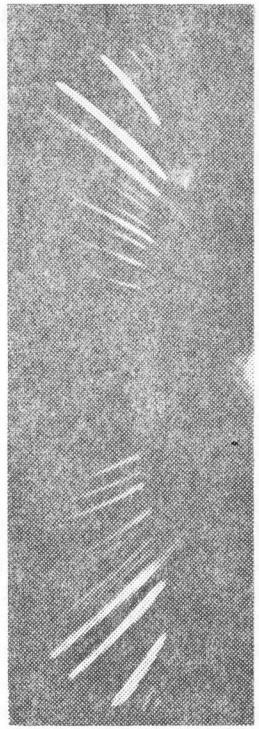
J. J. Thomson (1856—1940)

Am arătat mai sus cum a contribuit el la descoperirea electronului. Au urmat investigații privind numărul electronilor în atom, mecanismul conducției electrice în gaze, împrăștierea radiațiilor Roentgen și ionizarea pe care o produc, teoria conducției metalelor, precum și multe alte probleme legate de acestea — investigații efectuate atît de el cît și de discipolii săi, acum foarte numeroși.

În jurul anului 1905 el a început să studieze radiațiile pozitive[1]. În pasajul consacrat lui Aston voi arăta cum acest studiu a dus la descoperirea izotopilor elementelor obișnuite, dar faptul merită să fie menționat și dintr-un alt motiv. Folosindu-se de devierile cauzate de cîmpurile electrice și magnetice (vezi fig. 5), J.J. Thomson a putut analiza aceste radiații (care se produc în tubul de descărcare îndărătul catodului, dacă este găurit sau dacă este trecut un tub prin el). El urmărea să dovedească — ceea ce de fapt se presupusese — că radiațiile pozitive sînt un șuvoi mixt alcătuit din atomi și molecule, avînd (de obicei) o sarcină electrică pozitivă. De asemenea, voia să separe particulele de mase diferite (mai precis, particulele cu un raport sarcină / masă diferit) și să le evidențieze pe o placă fotografică sub forma unor linii curbe. Faptul că în limitele impuse de instrument aceste linii sînt clare a arătat pentru prima dată că atomii de un anumit fel au efectiv aceeași masă și că greutatea atomică nu este o simplă valoare medie statistică, cum ar fi, de pildă, greutatea populației dintr-o țară oarecare, ci este o valoare precisă pentru un grup dat. Aston avea să demonstreze că „grupul" conține atomi ai aceluiași izotop și nu, cum s-a presupus, atomi diverși ai unui element. În paranteză fie spus, această tehnică este în prezent utilizată pe scară largă la analiza produselor rezultate din cracarea țițeiului, ceea ce i-ar fi făcut multă plă-

[1] Radiațiile pozitive constau în curenți de ioni pozitivi care trec prin orificii (canale) practicate în catod. Au fost descoperite în 1879 de fizicianul german M. Goldstein *(N.T.)*.

Fig. 5 Radiații pozitive. Modelul pe care-l imprimă pe o placă fotografică radiațiile pozitive deviate orizontal de un cîmp electric și vertical de unul magnetic. Modelul apare dedublat, deoarece cîmpul magnetic a fost inversat la mijlocul experienței. Fiecare arc parabolic reprezintă valoarea unui raport *e/m* și un anumit fel de atom sau moleculă. Cele trei arcuri mai luminoase din fiecare parte corespund atomilor de oxigen, azot și carbon. Arcurile mai puțin vizibile și mai îndepărtate de centru corespund unora din acești atomi cu dublă sarcină. Gazul folosit în camera aparatului a fost aerul rezidual cu o impurificare prin hidrocarburi provenite din unsoarea folosită pentru a unge robinetele de sticlă.



cere lui „J.J.", deoarece el a subliniat mereu importanța ei în analiza chimică[1].

Deși ca studii J.J. Thomson a fost matematician, el a desfășurat o vastă activitate teoretică în domeniul fizicii, păstrîndu-și totodată pînă la o vîrstă înaintată priceperea în materie de analiză matematică. Felul său de gîndire a fost în esență cel al unui fizician. Pentru el, matematica era numai o unealtă, nu o sursă de inspirație; rolul acesta îl jucau ideile din domeniul fizicii, pe care

[1] Spectrometria de masă ca metodă de analiză chimică se dezvoltă impetuos în ultimii ani. Cu ajutorul ei se cercetează chiar structura celor mai complexe molecule ale proteinelor *(N.T.)*.

el le transforma în imagini și le schița pe dosul cîte unui plic. Îl atrăgea ideea liniilor de forță — idee ce-i fusese sugerată lui Faraday de aranjarea piliturii de fier cînd ajungea în apropierea unui magnet și care ulterior a fost dezvoltată de Maxwell. Era înclinat să creadă în realitatea fizică atît a liniilor de forță electrice, cît și a celor magnetice. Teoria dominantă în prezent le consideră însă drept simple ficțiuni matematice utile. Este cert că ele sînt foarte utile și își dovedesc utilitatea în special astăzi, atunci cînd se cercetează cît de „fierbinți" trebuie să fie gazele aflate într-un cîmp magnetic pentru a produce o reacție de fisiune nucleară — așa-numita „problemă Zeta".

El era ferm convins de importanța abordării corecte a problemelor, lucru pe care-l exprima mai simplu prin cuvintele: „totul e să apuci bățul de capătul cel bun". Din acest motiv nu era de acord cu practica uzuală, și anume că atunci cînd dai de o problemă nouă să începi prin a citi întreaga literatură avînd contingență cu ea. În schimb, recomanda să te gîndești singur la problemă și s-o ataci în mod independent. Abia după aceea trebuie să citești ce au făcut alții. Trecînd prea devreme la lectură, ea îți poate băga în cap idei greu de scos mai apoi și care îngreunează o abordare originală.

Ar fi greșit să credem că „J.J." era tipul omului de știință care se închide în turnul său de fildeș, deși în ultimii ani de viață manifesta o oarecare tendință în această direcție. În perioada sa cea mai bună a fost conducătorul unui grup de cercetători independenți, primul om — cel puțin în Marea Britanie — care a fondat o școală de acest fel. Rutherford și Townsend au fost primii cercetători din afara Universității Cambridge care au făcut parte din grup, dar numărul lor a crescut rapid, iar Laboratorul Cavendish a devenit unul dintre centrele mondiale ale fizicii, de unde au ieșit profesori pentru majoritatea țărilor de limbă engleză. Cele mai multe „ceaiuri de laborator" își trag originea de la acest laborator, unde J.J. Thomson invita pe studenții cercetători să ia ceaiul în camera unde lucra. Și cînd se lua ceaiul aici se discuta de toate, numai fizică nu.

În 1917 a fost numit director al lui Trinity College, iar după terminarea războiului a renunțat la catedra sa în favoarea lui Rutherford, păstrîndu-și numai un mic spațiu pentru lucrările sale și ale cîtorva elevi de-ai săi.

Directorul unui colegiu din Cambridge are o situație foarte stranie — puțină putere, dar multă influență. J.J. Thomson avea ideile sale despre felul în care ar trebui organizată munca în colegiu, dar nu-i plăcea să-și exercite autoritatea asupra oamenilor. În schimb îl interesa tot ce făceau oamenii — de fapt, mai mult bărbații decît femeile, pe care, cu foarte rare excepții, le considera mai degrabă plictisitoare. Nu era om cu care să nu găsească un subiect de conversație și nu existau decît foarte puține subiecte la care să nu fi putut contribui cu un punct de vedere nou sau cel puțin interesant. Trebuie să fac totuși o excepție în privința muzicii, pentru care nutrea o adevărată aversiune, pe care o atribuia faptului că în adolescență fusese obligat să însoțească vizitatori la concertele Halle. Manifesta mult interes pentru jocurile sportive și, dacă el însuși nu era un sportiv de performanță, era perfect de bine informat despre tot ce se întîmplase în materie de sport la Cambridge timp de o jumătate de secol.

Marea sa pasiune era grădinăritul, dar nu lucra personal. De fapt era surprinzător de neîndemînatic la tot ce era lucru manual. Deși putea să indice cu o precizie aproape supraomenească defectele unui aparat, era preferabil să nu fie lăsat să pună mîna pe el. Majoritatea experiențelor au fost pregătite de asistentul său Everett, deși de descifrarea, respectiv citirea rezultatelor se ocupa el personal. Hîrtiile lui erau într-o dezordine înfiorătoare, dar în schimb avea un scris îngrijit și într-adevăr foarte frumos — singura sa dexteritate manuală. Avea prostul obicei de a nu răspunde la scrisori. Nu am putut fi niciodată sigur dacă era vorba de o politică aplicată în mod deliberat — uneori cu mult succes — sau dacă nu era decît o manifestare a faptului că-i displăcea să-și întrerupă cursul gîndirii. Dispunea de o mare capacitate de a se concentra. Cînd lucra nu avea nici un rost să-i vorbești; pur și simplu nu auzea ce-i spuneai; ceea ce te lăsa deconcertat. L-am auzit susținînd că cel mai bun mod de a învinge o problemă dificilă este să începi prin a o

studia foarte temeinic, apoi să te lași de ea și să te gîndești la cu totul altceva, iar cînd te vei apuca din nou de problemă, soluția va veni adesea de la sine. Cu toate acestea, era foarte greu să-l determini să-și întrerupă lucrul.

Avea un foarte pronunțat simț al umorului, dar nu cînd era vorba de fizică — lucru mult prea serios pentru a se preta la glume. După părerea sa, cele două mari virtuți ale fizicianului sînt originalitatea și entuziasmul, și el îi clasifica pe oameni în funcție de aceste calități, dînd preferință entuziasmului, pe care-l considera drept o forță motrice indispensabilă.

F. W. Aston (1877—1945)

Opera lui Aston ca fizician este remarcabilă din două puncte de vedere: priceperea lui de a imagina, construi și folosi aparatura și credința lui că omul de știință trebuie să persevereze în convingerea sa — bazată pe dovezi serioase, chiar dacă nu par concludente — pînă ajunge la concluzii încununate de succes.

Iată cum s-au petrecut aproximativ lucrurile. Soddy constatase că unele dintre numeroasele corpuri radioactive formate prin descompunerea spontană a radiului și a toriului sînt inseparabile din punct de vedere chimic, deși emit radiații cu totul diferite. El le-a dat denumirea de „izotopi", considerîndu-le pe bună dreptate ca subspecii ale atomilor. Această constatare o făcuse înainte ca Rutherford să fi descoperit nucleul. Cam în aceeași vreme, J.J. Thomson se ocupa de „radiațiile pozitive". El căuta echivalentul pozitiv al electronului, dar nu a găsit nimic ce ar fi fost mai ușor decît atomul de hidrogen cu sarcină pozitivă, denumit acum proton. După cum am arătat, el a descoperit o mare varietate de alte specii de atomi și molecule. În 1910, Aston — de profesiune chimist și care lucrase timp de trei ani la o fabrică de bere — a început să se intereseze de fizica descărcării în gaze. În același an, J.J., care primise o alocație de la Royal Institution pentru a angaja un asistent, i-a propus lui Aston să vină să-l ajute în cercetarea radiațiilor pozitive.

Fără a intra în amănuntele aparaturii folosite, vom spune numai că această aparatură separa din fasciculul de radiații diferitele feluri de particule cu sarcină electrică, fiecare din ele apărînd pe placa fotografică sub forma unui arc parabolic, fiind așezate în ordinea maselor lor (mai precis, a raportului dintre masă și sarcină). Cînd în tubul de descărcare se afla neon — gaz din grupul gazelor inerte găsite ca urmare a descoperirii argonului de către Rayleigh — , apăreau două parabole necunoscute. Masa corespunzătoare arcului parabolic mai pronunțat se potrivea destul de bine cu masa de 20,2, cît era de așteptat pentru un atom de neon cu sarcină electrică. Celălalt arc parabolic corespundea unei mase de circa 22 și nu a putut fi identificat. Era clar că este asociat cu neonul și nu apărea decît atunci cînd în tub se afla neon. Existau două explicații plauzibile ale acestui fapt, fără a mai pomeni de altele mai puțin verosimile. Gazul neon putea să fie alcătuit din două feluri de atomi, cu greutățile 20, respectiv 22, celelalte proprietăți fiind însă aproape identice. În acest caz ar fi putut să fie vorba de izotopii lui Soddy, dar de data aceasta ca parte componentă a unui element normal, neradioactiv. A presupune că 22 este greutatea atomică a unui alt gaz inert avînd o masă apropiată de aceea a neonului ar fi însemnat o deviere de la succesiunea normală a proprietăților chimice ale elementelor așezate în ordinea greutăților lor atomice. Alternativa era de a presupune că arcul parabolic corespunzînd cifrei 22 s-ar datora nu unui atom, ci moleculei unui compus, probabil moleculei NeH_2, în care caz masa găsită ar fi corectă. Dar împotriva acestei din urmă interpretări se putea evident obiecta că din punct de vedere chimic neonul este inert și nu formează compuși. Argumentul pare concludent[1]. Dar J.J. Thomson tocmai găsise în radiații compuși pe atunci necunoscuți chimiștilor,

[1] În 1962 au fost descoperiți compuși ai gazului inert xenon, iar ulterior și ai radonului și criptonului. Încă nu se cunosc compuși ai neonului *(N.T.)*.

în special hidruri. E adevărat, nici unul dintre acești compuși nu conținea gaze inerte, dar mai știi?...

Aston s-a pus pe lucru pentru a găsi dovezi în sprijinul presentimentului său că neonul are izotopi și a încercat să-i separe prin mijloace fizice. În zilele noastre separarea izotopilor a devenit o mare ramură industrială. Se spune că instalațiile de separare a izotopilor de uraniu de la Oak Ridge, Tennessee (S.U.A.) consumă mai multă electricitate decît întreaga Franță. Pe vremea aceea însă, în acest domeniu nu se știa încă nimic. La început a încercat distilarea fracționată a neonului lichid. Încercarea a eșuat și, după cum știm azi, ea trebuia să eșueze. Apoi a încercat să treacă gazul printr-o argilă albă, plastică. Teoria difuziunii gazelor prin orificii mici este, din punct de vedere fizic, simplă și binecunoscută. Difuziunea gazului mai ușor se produce mai repede și în cantități ce pot fi calculate. După mii de operații, Aston a găsit o mică diferență între densitățile a două mostre de gaz, măsurate pe un cîntar de mare finețe imaginat de el. Deși cert, efectul era însă prea mic pentru a putea sluji ca dovadă.

Apoi a izbucnit războiul. Aston s-a dus să lucreze la Royal Aircraft Factory (Fabrica regală de avioane) din Farnbourough, unde a revenit la chimie, ocupîndu-se de studiul unor chestiuni ca, de pildă, lacul folosit la întinderea pînzei cu care, pe vremea aceea, erau acoperite aripile de lemn ale avioanelor. El s-a înscris la o cantină civilă particulară, instalată într-o casă denumită Chudleigh, și unde mai veneau și alți oameni de știință, printre care lordul Cherwell (pe atunci profesorul Lindemann) și eu. Îmi amintesc foarte bine discuțiile dintre Aston și Lindemann, care se arăta sceptic în privința izotopilor neonului. Discuțiile se terminau de fiecare dată cu victoria lui Lindemann, deoarece în materie de fizică era un mai bun teoretician decît Aston; dar în seara următoare Aston revenea neabătut la atac. În cele din urmă l-a convins în parte pe Lindemann și împreună am publicat un articol despre metode posibile de separare a izotopilor.

După terminarea războiului, Aston a revenit la Cavendish cu o bursă proprie și a construit cu mîinile sale un aparat de difuziune mult mai perfecționat și astfel mecanizat încît operația de difuziune să poată fi repetată de foarte multe ori. Aparatul nu a dat însă absolut nici un rezultat, nici măcar acea mică separare ce fusese obținută cu modelul antebelic. În locul lui, cei mai mulți dintre cercetători ar fi renunțat, deoarece teoria părea corectă și din punct de vedere mecanic aparatul funcționa bine. După cum știm astăzi, eșecul s-a datorat unui insuficient amestec al gazului ce urma să treacă prin operația de difuziune, fapt ce avea drept consecință că atomii mai ușori treceau mai repede decît ar fi trebuit; în felul acesta stratul de gaz din imediata apropiere a argilei își pierdea curînd atomii ușori și astfel creștea proporția atomilor mai grei care treceau prin argilă.

Aston a intuit ceva de acest fel, dar în loc să încerce să obțină un amestec mai bun a căutat să meargă pe un cu totul alt drum, ceea ce era foarte înțelept din partea lui. Ținînd seama de densitatea neonului, greutatea lui atomică este 20,2. Această densitate poate fi rezultatul unui amestec de circa 10% dintr-un izotop cu greutatea 22 și 90% dintr-unul cu greutatea 20. Dar putea de asemenea să însemne că toți atomii de neon cîntăresc 20,2. Dacă s-ar fi putut determina *cu exactitate* greutatea neonului care formează cel mai puternic arc parabolic, problema ar fi putut fi rezolvată. Aparatul construit de J.J. Thomson nu era însă suficient de precis. Aston a imaginat un nou și ingenios aranjament al cîmpului electric și al celui magnetic, putîndu-se obține astfel o mai mare precizie. În felul acesta, el a construit — în cea mai mare parte cu propriile sale mîini — primul spectograf de masă. Truda i-a fost răsplătită. Liniile neonului (care în noua mașină nu mai erau parabolice) au arătat în mod concludent că explicarea densității neonului implică existența unor izotopi (de fapt trei, cel cu greutatea 21 fiind un izotop slab), iar în plus a mai arătat și că foarte multe alte elemente aveau de asemenea izotopi despre a căror existență nimeni nu avusese nici cea mai vagă idee. Constatările lui Aston au deschis pentru chimiști orizonturile unei lumi cu totul noi. Toate greutățile atomice autentice au devenit — cu o foarte mică aproximație — numere întregi, aparentele fracții, ca în cazul neonului, datorîndu-se faptului că presupusul element este alcătuit

din doi sau mai mulți izotopi de mase diferite. Această descoperire amintea de o idee, veche de mai bine de un secol și cunoscută sub denumirea de „ipoteza lui Prout", dar pe care, după îndelungate ezitări, chimiștii o respinseseră definitiv cu cîteva decenii în urmă. Această ipoteză afirma că toate elementele sînt alcătuite din hidrogen. Cu singura precizare că în nuclee există atît neutroni cît și protoni, se poate spune că concepția lui Prout este azi unanim acceptată.

Dar recompensa culeasă de Aston pentru credința lui în succes și pentru măiestria lui nu se oprește aici. După scurt timp el a constatat că, deși greutățile atomice, măsurate pe o anumită scală, sînt foarte apropiate de numere întregi, ele prezintă totuși mici variații. Hidrogenul este, cert, mai greu decît unitatea de măsură. Fenomenul a putut fi imediat explicat pe baza legii lui Einstein cu privire la echivalența masei și energiei. Dacă atomii de hidrogen, sau mai degrabă protonii din acești atomi, se unesc pentru a forma nucleele unor atomi mai grei, trebuie să existe forțe care să-i lege, iar pentru a-i separa va fi nevoie de energie. Această energie implică o masă suplimentară în protoni, care trebuie să fie mai grei atunci cînd sînt separați decît atunci cînd sînt combinați. Pierderea de masă depinde de forța cu care sînt legați între ei. Dacă vom considera protonul dintr-un nucleu de oxigen drept etalon arbitrar fixat, atunci protonul liber va avea o greutate mai mare, în timp ce protonul din alt nucleu poate fi mai greu sau mai ușor, în funcție de felul în care este legat de nucleu. În plus, măsurînd aceste „fracțiuni de împachetare", după cum le-a denumit Aston, putem stabili imediat dacă o ipotetică reacție nucleară va elibera sau va absorbi energie. Înainte ca energia nucleară să fi devenit o problemă de ordin practic, lucrările lui Aston au arătat cîtă energie ar deveni disponibilă dacă s-ar ajunge vreodată ca ea să poată fi eliberată.

Aston a rămas toată viața un burlac cu obiceiuri la fel de pedante ca și precizia meticuloasă de care dădea dovadă în munca sa de laborator. Avea poate în înfățișarea sa ceva de fată bătrînă, dar era un bun alpinist, și un schior, patinator și înotător depășind cu mult media. Degetele lui, atît de îndemînatice în suflarea sticlei, mî-

nuiau racheta de tenis și crosa de golf cu mult mai multă pricepere decît majoritatea jucătorilor. Îi plăcea să călătorească, mai ales cu vaporul, și a luat parte la cîteva expediții de observare a unor eclipse. Avea simțul muzicii și al picturii, iar spre sfîrșitul vieții a colecționat porțelanuri orientale. Părerile lui în alte chestiuni decît cele privind fizica erau convenționale, dar și le exprima cu o fermecătoare sfială. Își dădea perfect de bine seama că unii dintre numeroșii săi prieteni considerau părerile lui drept învechite, dar în același timp era conștient — îmi place cel puțin să cred și să sper acest lucru — că toți acești prieteni îl priveau cu afecțiune și cu acel respect sincer care este compatibil cu o ironie ocazională. Ca experimentator a putut fi rareori egalat și, probabil, niciodată întrecut. Își mîngîia aparatele întocmai cum un muzician își mîngîie vioara, iar dacă aparatul nu corespundea așteptărilor sale, era nefericit.

Robert A. Millikan (1868-1953)

De-a lungul a aproape jumătate din secolul nostru, Robert A. Millikan a fost unul dintre cei mai de seamă fizicieni din Statele Unite. Era fiul unui predicator și a fost educat în condiții de pionierat — sau aproape în asemenea condiții — de felul celor ce existau în orășelele din Illinois și Iowa. Cînd s-a născut, în 1872, America își avea marii ei fizicieni: William Gibbs, geniu nerecunoscut, Michelson, cel care a efectuat cunoscuta experiență ce-i poartă numele, Rowland, căruia i se datoresc acele rețele de difracție foarte precise care au făcut posibilă spectroscopia modernă — cu toții foarte activi. Dar o a doua generație de mari fizicieni nu exista. Numai în cîteva universități fizica se preda în mod serios, lucru valabil chiar și pentru vremea cînd și-a terminat Millikan școala. Societatea de fizică abia fusese înființată, iar „Physical Review", azi cea mai importantă revistă de fizică din lume, încă nu apărea. În fizică — ca de altfel în majoritatea celorlalte științe — Statele Unite erau, cel puțin sub raportul cantității, dacă nu și sub cel al

calității, mult rămase în urma cîtorva țări europene. În 1953, anul cînd a decedat Millikan, Statele Unite dădeau însă cel mai mare număr de lucrări de valoare din lume. Millikan a avut o mare contribuție la înfăptuirea acestei schimbări, atît prin propriile sale lucrări, cît și prin înrîurirea exercitată de el asupra procesului de predare a fizicii și asupra acțiunii statului.

Deși a lucrat în numeroase domenii ale fizicii, cea mai cunoscută lucrare a lui este cea despre electroni și, mai tîrziu, cea despre efectul fotoelectric. În această din urmă problemă, el s-a inspirat din convingerea lui Einstein că lumina se propagă în cuante, sub formă de fotoni, și că atunci cînd un foton este absorbit el poate transmite unui electron întreaga sa energie. În 1905, cînd Einstein a publicat această idee (vezi p. 178), ea încă nu avea o dovadă experimentală foarte puternică. Efectul fotoelectric — în care lumina, de obicei ultravioletă, separă electroni din anumite solide, ca de pildă din zinc — era, ce-i drept, cunoscut încă de mult, dar continua să fie un fenomen foarte capricios. Acest lucru se datorează faptului că ejecția depinde, în mod hotărîtor, de starea electrică a suprafeței, exprimată prin forța necesară pentru a smulge un electron. Această forță depinde, la rîndul ei, de puritatea suprafeței. În unele cazuri, chiar un singur strat de atomi poate să însemne foarte mult. Pînă și în cele mai avansate viduri realizabile, o asemenea puritate a fost — și de fapt mai este și azi — greu de obținut și de menținut. Millikan își pregătea suprafețele chiar în incinta vidată în care urmau să fie folosite, „răzîndu-le" cu ajutorul unei unelte mînuite cu ajutorul unor magneți aflați în afara vasului, din care se evacuase aerul. O „frizerie în vid" — după cum spunea el. Chiar și așa, suprafețele tot nu erau perfect curate, dar cel puțin contaminarea lor rămînea constantă în tot decursul experienței — și asta era tot ce trebuia pentru a se putea stabili că energia transmisă de lumină unui electron este egală cu $h\nu$, adică cu constanta lui Planck înmulțită cu frecvența luminii. Rezultatul experienței a dat convingerii lui Einstein un fundament experimental solid.

Cînd, în 1906, Millikan a început să studieze problema sarcinii electronilor, valoarea sarcinii nu putea fi măsurată decît cu un grad de incertitudine de cel puțin cincizeci la sută. În plus, toate metodele folosite nu măsurau decît *sarcina medie* a unui mare număr de electroni. Nu exista vreo dovadă reală că toți electronii au aceeași sarcină sau, cu alte cuvinte, că ar exista efectiv o unitate naturală de sarcină. E adevărat, exista o prezumție puternică în această privință: dacă sarcinile electrolitice ale ionilor nu erau egale, ele erau totuși exact de două sau de trei ori mai mari decît sarcina minimă; tot astfel, atunci cînd radiațiile catodice sînt deviate de un magnet, cele care au aceeași viteză deviază toate în mod egal, această deviere putînd fi măsurată cu o mai mare precizie decît sarcina e. Se poate arăta că această deviere depinde de raportul dintre sarcină și masă. De aceea, în această experiență electronii ar putea avea sarcini diferite dacă ar avea mase proporționale cu aceste sarcini. Lucrul acesta nu părea foarte probabil, dar posibilitatea ca atare exista. Millikan a adaptat și a perfecționat o metodă folosită înaintea sa de H.A. Wilson, metodă care depindea de mișcarea unor picături de apă avînd o sarcină electrică și care erau puse în mișcare de o forță electrică. Millikan a folosit picături de ulei care nu se evaporau în timpul operației, și după alte perfecționări tehnice a efectuat una dintre cele mai frumoase experiențe din fizică. O minusculă picătură de ulei este urmărită la microscop cum cade încet prin aer. Aerul este apoi ionizat cu ajutorul radiațiilor Roentgen; la un moment dat, picătura va culege un ion și va căpăta o sarcină electrică — poate pozitivă, poate negativă. Dacă nu acționează decît gravitația, nu se va produce nici un efect apreciabil, dar dacă aplicăm un cîmp electric vertical, picătura va începe de îndată să-și accelereze sau să-și încetinească mișcarea în funcție de felul în care forța electrică acționează asupra sarcinii picăturii, respectiv dacă o trage în sus sau în jos. La rîndul său, acest lucru depinde de semnul sarcinii (+ sau —), precum și de direcția intensității electrice a cîmpului aplicat. Millikan a constatat că poate urmări o particulă la microscop timp de ore în

șir, lăsînd-o că cadă sub efectul gravitației în timp ce cîmpul electric este deconectat și trăgînd-o apoi îndărăt prin conectarea cîmpului electric, ca și cum s-ar fi jucat cu picătura. Din aceste două viteze, cunoscîndu-se cîmpul și rezistența aerului, poate fi calculată valoarea sarcinii.

Sarcinile nu erau totdeauna aceleași, iar uneori se schimbau brusc, dar oricît s-ar fi schimbat, *ele erau totdeauna exact un multiplu al unei anumite unități*. Este dovada directă a existenței unei unități de sarcină. Valoarea efectivă a fost substanțial mai mare decît cea stabilită anterior pentru ionii produși de radiațiile Roentgen, dar nu prea îndepărtată de valoarea dedusă de Rutherford din experiențele sale cu radiațiile alfa. Ea nu diferă decît puțin de valoarea admisă azi.

Millikan a fost un excelent profesor și autor de manuale, unul din acei oameni de care America avea atîta nevoie pe vremea tinereții sale. El și-a cîștigat în acest fel o mare reputație, încă înainte de a fi devenit cunoscut prin munca sa de cercetare. A început prin a fi profesor înainte de a fi urmat cursurile respective. Profesorul de limbă greacă de la colegiul din Oberlin, mic orășel situat în Vestul Mijlociu, unde își desfășura activitatea, i-a cerut la sfîrșitul unui an școlar ca în anul următor să predea fizica elementară și nu a vrut să țină seama de obiecțiile lui Millikan că nu cunoaște această materie. După cum era pe atunci obiceiul în America, Millikan a plecat mai tîrziu în Germania — pe vremea aceea țara cea mai avansată din punct de vedere științific —, unde a urmat cursurile lui Planck și a lucrat sub îndrumarea lui Nernst. A fost o perioadă pasionantă, căci tocmai atunci a descoperit Roentgen radiațiile ce-i poartă numele. Șederea în Germania a exercitat o mare influență asupra lui Millikan. A legat aici prietenii, dar l-a indignat profund atitudinea militaristă a multora dintre cei cu care a avut de-a face. Mai tîrziu, cînd a izbucnit războiul, a fost unul dintre cei dintîi care au insistat ca Statele Unite să se pregătească în vederea participării la război. L-a sprijinit pe astronomul George Hale în organizarea Consiliului Național al Cercetării, înființat tocmai în vederea acestei pregătiri. Președinte al Consiliului a fost ales Hale. Consiliul era un vlăstar al Academiei Naționale, pe atunci fără îndoială învechită, înființată cu un scop similar în timpul războiului civil. Încă înainte ca Statele Unite să fi intrat în război, Millikan și-a sacrificat promițătoarele cercetări pe care le efectua la Chicago pentru o slujbă la Washington, unde mai tîrziu am avut cinstea de a lucra în subordinea lui. Millikan a fost numit vicepreședinte, director al cercetării și director administrativ al Consiliului. A început să lucreze la elaborarea unor metode de luptă împotriva submarinelor. Ulterior i-au fost încredințate răspunderi mult mai mari și, oarecum împotriva voinței sale, a trebuit să îmbrace uniforma militară. E greu de imaginat om mai puțin asemănător cu tipul tradițional de soldat, dar el s-a împăcat bine cu militarii, în ciuda (sau poate tocmai din cauza) ieșirilor violente pe care le avea din cînd în cînd. A dat dovadă de mult bun simț, într-un moment cînd o asemenea însușire era foarte rară, dar și foarte necesară.

La scurt timp după război a plecat să lucreze la *California Institute of Technology*, pe atunci o instituție tînără care mai avea de luptat cu numeroase greutăți. Millikan a transformat-o într-unul din cele mai mari colegii din lume. În învățămînt el și-a exercitat influența în direcția îmbinării învățămîntului cu cercetarea, chiar și la nivel de studenți. Lui i se datorează în mare măsură faptul că în Statele Unite universitățile și-au păstrat poziția dominantă în munca de cercetare, poziție pe care o mai dețin și astăzi. Statele Unite sînt unice în lume prin amploarea cercetărilor, finanțate de stat și efectuate sub îndrumarea universităților, chiar dacă aceste cercetări nu au loc în incinta universității.

Millikan și-a păstrat toată viața simplitatea de pionier a strămoșilor săi direcți. Avea convingeri profund înrădăcinate și simple despre ceea ce este drept și ceea ce este nedrept, rămînînd cu fermitate credincios acestor convingeri. Înflăcărata sa dragoste de pace nu l-a împiedicat să-și ajute țara în decursul a două războaie, cînd a avut sentimentul că erau puse în joc înseși valorile morale. Millikan era cu desăvîrșire lipsit de afectare și infatuare.

Chiar dacă într-o împrejurare nu puteai să cazi de acord cu ceea ce spunea, trebuia să recunoşti că raţionamentele lui erau de o claritate perfectă. Atitudinea lui faţă de tineri era pur şi simplu fermecătoare. Unii se plîngeau că era întotdeauna gata să susţină cu prea multă căldură orice lucrare la care, într-un fel sau altul, luase parte, dar, în orice caz, erau lucrări care meritau să fie susţinute.

4
Din ce sînt alcătuite lucrurile? II. Nucleele

Descoperirea nucleului de către Rutherford a fost o consecinţă neaşteptată a unui lung şi foarte fructuos şir de experienţe în domeniul radioactivităţii. Descoperirea radioactivităţii se datorează fizicianului francez Becquerel. După cum se ştie, ulterior Pierre şi Marie Curie au făcut un pas înainte, izolînd mai întîi poloniul şi apoi radiul, dar aici vom consacra cîteva rînduri şi descoperirii făcute de Becquerel.

Ca urmare directă a descoperirii radiaţiilor Roentgen, în numeroase ţări o serie de fizicieni au început să caute alte eventuale radiaţii, cercetînd în special fluorescenţa, deoarece se presupunea — în mod eronat — că producerea radiaţiilor Roentgen ar avea o legătură cu fluorescenţa balonului de sticlă cauzată de radiaţiile catodice. Unii compuşi ai uraniului sînt fluorescenţi, adică atunci cînd sînt luminaţi de o lumină avînd anumite culori produc o lumină de culoare specifică, diferită de cea originală. Becquerel a considerat că merită să cerceteze cum se comportă compuşii uraniului în întuneric şi a constatat că aceştia pot înnegri plăci fotografice aflate în apropierea lor, chiar dacă plăcile sînt acoperite cu hîrtie neagră.

Becquerel are, desigur, meritul de a fi făcut aceste încercări, dar faptul că ele au dus la o descoperire atît de uluitoare a fost o chestiune de noroc. Radioactivitatea nu este, în realitate, legată de fluorescență — care se limitează doar la cîțiva compuși ai uraniului — , ci e o proprietate a atomilor, comună tuturor corpurilor care conțin uraniu.

Rutherford a studiat cele trei tipuri de radiații pe care le emit diferitele substanțe radioactive și le-a dat denumirea de: alfa, beta și gamma, în ordinea puterii lor de penetrație. Printr-un lung șir de experiențe strălucite el a demonstrat că atomii radicactivi nu sînt stabili, ci se modifică în mod spontan, emițînd radiații energetice și transformîndu-se în alți atomi care, de obicei, sînt și ei radioactivi, pînă ce — la capătul unei lungi succesiuni de asemenea procese — ia naștere un atom inert, normal, de obicei un atom de plumb. El a demonstrat că radiațiile alfa sînt „gloanțe" atomice expulzate în decursul acestui proces și că sînt identice cu atomii cunoscutului gaz heliu, cu singura deosebire că le lipsesc cei doi electroni pe care îi are un atom normal de heliu. Dar înainte de a ajunge în stare de repaus, ei culeg acești electroni din materia înconjurătoare. A fost, firește, o descoperire absolut uluitoare. Acești atomi — presupuși eterni — nu se mărgineau numai să se descompună, dar părțile rezultate erau atomi mai ușori, de un fel cu totul diferit de atomii inițiali. Radiațiile beta s-au dovedit a fi electroni rapizi, iar radiațiile gamma — un fel de radiații Roentgen.

Rutherford a avut o deosebită slăbiciune pentru radiațiile alfa. A constatat că este posibil să detectezi exemplare izolate și, în felul acesta, să numeri atomii. Un procedeu era acela de a folosi un ecran acoperit cu mici cristale de sulfură de zinc. Se știa de mult că sub influența radiației această substanță devine fluorescentă. Dacă sursa este slabă și ochii observatorului se adaptează printr-o așteptare îndelungată în întuneric și dacă se folosește un microscop cu mărire mică, este posibil să vezi scintilații individuale în cîmpul vizual al microscopului și, cu oarecare practică, chiar să le numeri. Rutherford și discipolii săi s-au folosit de această metodă pentru a

studia ce anume se întîmplă atunci cînd radiații alfa trec prin materie. Geiger a constatat — lucru la care se și așteptase de altfel — că, trecînd printr-o foiță subțire de aur, radiațiile sînt împrăștiate la unghiuri mici, probabil ca rezultat al ciocnirii cu atomii pe lîngă care trec. Folosind însă plăci din metal masiv, Geiger și Marsden constataseră că unele radiații sînt în asemenea măsură deviate încît ies prin aceeași parte prin care au intrat. Chiar și în cazul unei foițe de numai 0,004 cm grosime, o radiație din 20 000 este împrăștiată la un unghi de peste 90°, deși într-o foiță de asemenea grosime unghiul mediu de împrăștiere este mai mic decît un grad.

La prima vedere nu pare surprinzător că unele radiații formează unghiuri mult mai mari decît media; mulți cercetători mai puțin dotați ar fi considerat fenomenul ca lipsit de însemnătate. Dar pentru Rutherford, care insista să obțină o imagine fizică a ceea ce se întîmpla în experiențele sale, fenomenul era uimitor. „Era cel mai incredibil lucru ce mi se întîmplase vreodată în viață. Aproape la fel de incredibil ca și cum ai trage într-o foiță de hîrtie un obuz de 15 țoli și obuzul ar ricoșa, lovindu-te pe tine însuți".

Așa a spus el după cîtăva vreme despre experiența sa. Dacă o asemenea comparație ar putea să pară trasă de păr, nu trebuie să uităm că este un fenomen într-adevăr cu totul remarcabil ca un singur atom să poată produce — fără să fi intervenit vreo amplificare — un efect suficient de mare pentru ca ochiul să-l poată detecta, și Rutherford a fost într-adevăr impresionat de energia și forța particulelor alfa descoperite de el.

Mai întîi s-a convins că aceste devieri de 90° nu sînt rezultatul unei întîmplări datorită căreia o particulă ar fi fost obiectul multor devieri mici, toate în aceeași direcție. Așa ceva trebuia într-adevăr să se întîmple, dar numai în cazuri *cu totul* excepționale; din mărimea împrăștierii la unghi mic se poate calcula cît de frecvent are loc fenomenul — mult mai puțin frecvent decît are loc observația. Cele două efecte sînt, în esență, separate și împrăștierea la unghi mare este un fenomen care nu se întîmplă fiecărei particule alfa decît o singură dată — dacă, în general, se întîmplă.

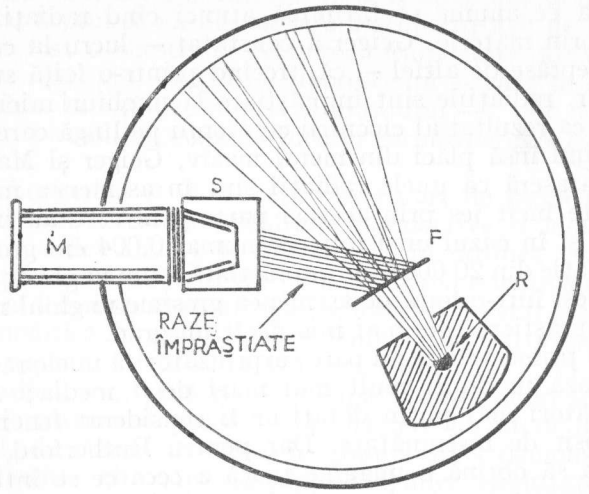


Fig. 6 Geiger și Marsden. Împrăștierea radiațiilor alfa.
Cutia, care este prezentată fără capac, se rotește pe o placă articulată și etanșă, pe care sînt fixate microscopul *M* și ecranele, în jurul foiței *F*, iradiată de sursa *R*. Pentru mai multă claritate nu sînt indicate decît acele radiații împrăștiate care lovesc ecranul *S*.

Este, fără îndoială, evident că nu poate fi vorba de ciocnirea cu un electron, deoarece particula alfa are o masă de mii de ori mai mare. Dacă ne vom gîndi, de pildă, la ciocnirea dintre o bilă de biliard și o minge de ping-pong aflată în repaus, este evident că bila de biliard nu va putea fi niciodată deviată din drumul ei decît la un unghi extrem de mic. O particulă alfa are o masă de patru ori mai mare decît un proton, așa încît nici chiar un proton nu ar putea-o devia la un unghi drept. Pentru ca particula alfa să fie deviată la un unghi de peste 90°, particula lovită trebuie să aibă o masă mai mare decît cea a particulei alfa. Trebuia să fie o parte dintr-un atom de aur, care este considerabil mai greu decît o particulă alfa, și suficient de puternic cimentată pentru ca sub puternicul șoc al impactului să se comporte ca un singur corp. Rutherford a fost de părere că acest corp ar putea

explica atît principala masă a atomului, cît și generarea sarcinii electrice pozitive, necesară pentru a neutraliza sarcina negativă a electronilor. După cum arătase cu mult timp înainte, radiațiile alfa au ele însele o sarcină pozitivă. Ele ar fi deci respinse de ipoteticul corp pe care l-ar ocoli printr-o curbă. Problema este foarte similară cu aceea a unei comete care vine din cosmos și trece pe lîngă Soare, cu singura deosebire că în acest din urmă caz este vorba de forța de atracție. În matematică schimbarea semnului este de mică importanță. În ambele cazuri curba reprezintă o hiperbolă; în ambele cazuri, cu cît obiectul în mișcare se îndreaptă mai direct spre obiectul fix, cu atît mai mare va fi unghiul la care este deviat, cu condiția să nu lovească efectiv obiectul fix. În general, asemenea traiectorii sînt rare și ca atare unghiurile mari de împrăștiere vor fi și ele fenomene rare. Rutherford a elaborat modelul împrăștierii, adică schema traiectoriilor radiațiilor alfa pe ecranul scintilator, așa cum era de așteptat să se petreacă lucrurile dacă presupunem existența pentru fiecare atom a unui centru de împrăștiere de masă mare. Rezultatul depinde, firește, de mărimea sarcinii pozitive presupuse, adică de numărul electronilor care trebuie să fie neutralizați într-un atom de aur sau de alt metal folosit. Cu cît e mai mare sarcina, cu atît mai extins va fi modelul.

Cînd calculele au fost comparate cu experiențele efectuate de Geiger în acest scop, modelele teoretice concordau, dacă se admitea în cazul aurului o sarcină suficientă pentru a neutraliza aproximativ 100 de electroni.

Abia cîțiva ani mai tîrziu a fost înțeleasă întreaga însemnătate a acestor rezultate, și anume atunci cînd au fost cunoscute două lucrări, amîndouă realizate în laboratorul lui Rutherford din Manchester. Prima era o lucrare teoretică, datorată unui tînăr fizician danez, Niels Bohr, care, folosind ideea unui nucleu central avînd o sarcină electrică, a elaborat o teorie revoluționară cu privire la atomul de hidrogen și, în special, la modul în care produce lumină. În elaborarea teoriei sale, Bohr a recurs la teoria cuantelor a lui Planck, care încă nu era general acceptată. A 60-a aniversare a nucleului a fost sărbătorită în anul 1971.

Apoi, Moseley — ucis cîțiva ani mai tîrziu pe front, la Gallipoli — a aplicat și generalizat această teorie, în așa fel încît să includă alți atomi și radiațiile Roentgen caracteristice lor. Moseley a putut demonstra că teoria este în concordanță cu ideea lui Rutherford, dacă se admite că numărul unităților de sarcină ce revin pentru ceea ce a început să fie denumit „nucleu" este egal cu locul pe care atomul respectiv îl ocupă în tabelul periodic general acceptat, al elementelor chimice. Cu excepția cîtorva iregularități, acest tabel este identic cu cel în care elementele chimice sînt așezate în ordinea crescîndă a greutăților atomice. A fost introdus termenul de „număr atomic" pentru a desemna locul elementului în acest tabel, în care hidrogenul figurează sub numărul unu, heliul sub numărul doi, litiul sub numărul trei și așa mai departe, în ordinea crescîndă a greutății atomice. Experiențele efectuate de Moseley au demonstrat că se produce treptat o modificare a anumitor proprietăți ale radiațiilor Roentgen secundare care apar într-o serie de elemente mai grele atunci cînd acestea sînt expuse unor radiații Roentgen primare. Dacă elementele sînt așezate în ordinea greutăților atomice crescînde, atunci fiecare trecere de la un element la cel următor modifică radiațiile Roentgen secundare cu o mărime definită și egală. Acest fapt constituia o dovadă foarte clară că deosebirea dintre un anumit element și cel următor implică modificarea cu o unitate a vreunei proprietăți importante. Din aplicarea teoriei lui Bohr la producerea radiațiilor Roentgen secundare — aplicare datorată lui Moseley — rezultă că proprietatea care se modifică trebuie să fie sarcina electrică a nucleului. În felul acesta s-a ajuns la concluzia că numărul unităților de sarcină revenind unui nucleu este identic cu numărul atomic, definit — după cum am văzut — ca fiind numărul de ordine al locului pe care elementul respectiv îl ocupă în tabelul periodic al elementelor[1]. În cazul aurului, numărul atomic este 79 și această cifră se menține în limitele, destul de mari,

[1] Pe vremea aceea existau lacune în tabloul periodic al elementelor, lacune care au putut fi deduse pe cale chimică. Ulterior ele au fost confirmate de către Moseley.

ale erorilor admise în experiențele efectuate de Geiger. Ulterior, experiențe mai precise de același gen au confirmat că pentru aur și alte cîteva elemente concordanța este corectă cu o aproximație de o unitate. Dat fiind că în starea lor normală atomii sînt neutri, numărul atomic al unui element reprezintă și numărul de electroni pe care-l conține un atom în stare normală. Studiul felului în care se comportă acești electroni, ca și foarte curioasele legi care îi guvernează au acaparat în mare măsură atenția fizicienilor în perioada dintre cele două războaie mondiale, dar aici nu voi discuta această chestiune mai detaliat.

Este totuși interesant să privim mai cu atenție modul în care a ajuns Rutherford să facă această descoperire. Primul element l-a constituit ideea clară că particula alfa este un proiectil deosebit de puternic, a cărui deviere necesită o forță foarte mare. Un al doilea element a fost descoperirea făcută de Geiger și Marsden că unele particule alfa pot fi deviate de o placă metalică la un unghi drept sau chiar obtuz. A urmat investigarea împrăștierii la unghiuri mici. A fost necesar să facă această investigație pentru a avea siguranța că devierea la unghiuri mari — care, în definitiv, era extrem de rară — nu este rezultatul suprapunerii unui mare număr de ciocniri mici. Posibilitatea unei „împrăștieri multiple", pe vremea aceea încă insuficient studiată, este o complicație care apare întotdeauna în probleme de împrăștiere. După cum a arătat Rutherford în articolul mai sus citat, cercetătorii din perioadele precedente se lăsaseră induși în eroare de împrăștierile multiple. Adesea ele reprezintă o problemă matematică foarte spinoasă. În cazul lui Rutherford însă, problema împrăștierii multiple, odată abordată, s-a dovedit a nu fi foarte grea, împrăștierea multiplă nefiind nici pe departe un factor important. După ce s-a hotărît să ia drept bune rezultatele experiențelor sale — adică să le considere ca o dovadă a posibilității unor ciocniri mari, izolate — , Rutherford a trebuit să explice în ce mod se pot produce asemenea ciocniri. Aici se afla pe un teren sigur, deoarece nimeni nu punea la îndoială mecanica newtoniană (azi ar fi fost poate mai puțin sigur!). Din principiile mecanicii simple rezultă clar că

în atom trebuie să existe un centru avînd o masă mai mare, probabil chiar mult mai mare decît aceea a particulelor alfa. Admițînd că există numai un singur asemenea centru, care constituie principala greutate a atomului și posedă o sarcină pozitivă, calculul matematic al împrăștierii nu este prea greu. De fapt, ar fi fost o problemă indicată pentru un examen de matematică la Universitatea din Cambridge. Geniul lui Rutherford a constat în faptul că și-a dat seama de semnificația unui rezultat experimental în aparență destul de banal. Rezultatul acesta a putut însă să fie obținut grație unei perfecționări tehnice care a permis numărarea particulelor alfa individuale, Geiger și Marsden izbutind astfel să detecteze extrem de rarele particule întoarse din drumul lor.

Mai tîrziu avea să se dovedească — în cea mai mare parte de către Rutherford și discipolii săi — că nucleul este un corp complex, alcătuit din protoni și o nouă entitate, denumită neutron. Neutronul este o particulă ceva mai grea decît protonul, dar care nu are o sarcină electrică. În ambele privințe neutronul seamănă cu atomul de hidrogen, dar diametrul său — în măsura în care se poate spune că are unul — este de o sută de mii de ori mai mic. În consecință, el trece prin materia solidă, întîmpinînd o rezistență relativ mică. În comparație cu atomii, toate nucleele sînt mici. Cea mai mare parte a spațiului din interiorul atomului este ocupată de electroni, „asemenea unui roi de țînțari într-o catedrală", — după cum s-a spus —, dar am da poate o imagine mai corectă dacă am vorbi despre niște nori subțiri care plutesc. Termenul „nucleon" a fost introdus cu înțelesul de proton sau neutron. În ciuda respingerii electrice mutuale a protonilor, coeziunea acestor particule este menținută de o forță de un gen special, a cărei natură exactă continuă să rămînă un mister, noi denumind-o pur și simplu „forță nucleară". Printr-o ciocnire suficient de violentă, produsă de către alte nuclee, un nucleu poate fi sfărîmat, adesea în mai multe moduri. Neutronii pot fi alungați din nuclee pe căi diverse, de pildă prin bombardarea beriliului cu radiații alfa. Datorită faptului că sarcinile electrice de același fel se resping, nucleele nu se pot ciocni între ele decît dacă se mișcă cu o energie considerabilă, dar neutronii

izolați constituie o excepție de la această regulă. Dat fiind că nu au o sarcină electrică, ei se pot apropia foarte mult de nuclee chiar dacă se mișcă extrem de lent, și adesea fuzionează cu ele. Avînd în vedere că complexul rezultat are aceeași sarcină pozitivă și deci același număr atomic ca și atomul inițial, avem de-a face cu un izotop al acestuia din urmă. Se întîmplă însă uneori ca acest nucleu complex să nu fie stabil și să se descompună în două sau mai multe părți. Producerea energiei nucleare din uraniu — atît sub formă de explozie cît și în reactoare, în scopul generării de energie — reclamă procese de acest fel.

Ernest Rutherford (1871-1937)

Foarte rar se întîmplă ca un om, oricît de mare ar fi el, să creeze o întreagă ramură a științei. Nu exagerăm însă prea mult dacă afirmăm că Rutherford a creat fizica nucleară și că tot lui i se datoresc primele cercetări cu privire la radioactivitate, care astăzi este socotită o parte a fizicii nucleare.

Desigur, după cum se știe, prima descoperire a fost făcută de către Becquerel. Soții Curie au demonstrat că efectul ce se produce spontan în uraniu se datorează unor anumite specii de elemente și că tot ei au izolat două dintre aceste elemente — poloniul și radiul. Apoi Crookes a extras o componentă radioactivă a cărei activitate scade exponențial în decurs de cîteva zile, în timp ce activitatea restului uraniului crește, așa încît cele două părți, laolaltă, produc un efect constant. În rest, din 1898, anul plecării lui Rutherford la Montreal, și pînă la moartea sa (1937), majoritatea celor mai importante lucrări din acest domeniu au fost executate de acest mare savant și de colaboratorii și studenții săi, cărora le-a fost profesor și totodată inspirator.

Împreună cu Soddy a demonstrat că atomii radioactivi nu sînt permanenți, ci se transformă spontan în atomi ai altor elemente, iar mai tîrziu a arătat că în numeroase cazuri ei formează atomi de heliu, un element care nu este radioactiv. Nu era prima dată cînd se încălca

principiul presupusei imunități a atomilor față de orice schimbare, deoarece J.J. Thomson demonstrase că electronii pot fi smulși din atomi cu ajutorul radiațiilor Roentgen, ceea ce rămîne fiind un „ion" cu sarcină pozitivă. Într-adevăr, Rutherford, recent sosit din Noua Zeelandă cu o bursă acordată de Înalții Comisari pe 1851, îl ajutase pe J.J. Thomson la efectuarea unora dintre aceste experiențe. Dar ionii rămași singuri se combinau la loc foarte repede, restabilind astfel atomii sfărîmați. Sfărîmăturile realizate de Rutherford erau mult mai drastice și permanente. Dintr-un atom radioactiv se puteau forma doi atomi, dintre care unul de obicei radioactiv, iar celălalt — un atom de heliu; sau, pentru a vorbi mai precis, ionul de heliu — pe care îl denumise particulă alfa — aflat într-o mișcare rapidă, culegea doi electroni, devenind un atom de heliu. În alte cazuri avea loc emisia unui electron care, provenind din nucleu, schimba sarcina acestuia și deci natura chimică a atomului.

Douăzeci de ani după plecarea sa de la Cambridge, Rutherford s-a înapoiat în acest oraș ca succesor al lui J.J. Thomson. Aici avea să dezvolte o descoperire făcută la Manchester, cercetînd în mod sistematic transformările pe care radiațiile alfa le pot provoca în elementele ușoare, ai căror atomi s-a dovedit că puteau fi sfărîmați. În aceste experiențe el a folosit particulele alfa ca pe niște proiectile naturale cu care încerca să transforme elementele. Iar cînd, în 1933, Cockroft și Walton, care lucrau la Laboratorul Cavendish sub îndrumarea lui Rutherford, au obținut dezintegrarea cu ajutorul unor proiectile atomice, accelerate prin metode de tehnologie electrică, stăpînirea atomului de către om părea a fi devenit totală. Dar lucrurile nu stăteau chiar așa. Fisiunea nucleară — adică împărțirea nucleelor de uraniu sau ale altor cîtorva elemente grele în două părți oarecum egale, concomitent cu degajarea unei energii care depășea cu mult energia radioactivității naturale — nu a fost realizată decît după moartea lui Rutherford și a fost descoperită în partea continentală a Europei. Dar și la această descoperire Rutherford și-a adus partea sa de contribuție. Neutronii — cei care produceau fisiunea — fuseseră descoperiți de Chadwick în Laboratorul Cavendish înainte de moartea

lui Rutherford, după efectuarea cîtorva încercări sugerate de acesta din urmă. Hahn — care, chiar dacă nu este el autorul descoperirii propriu-zise, a deschis calea spre ea — era un fost elev al lui Rutherford de pe vremea cînd acesta se afla la Montreal.

Fisiunea nucleară a avut, firește, drept consecință directă, pe de o parte reactorul pentru producerea de energie electrică și pe de alta bomba „atomică". Rutherford nu a prevăzut aceste consecințe. Pînă la moartea sa, el și-a exprimat cu fermitate și în repetate rînduri convingerea că este foarte improbabil ca nucleul descoperit de el să-și găsească vreodată o aplicare practică pe scară mare. Cînd îmi amintesc cuvintele lui, înclin să cred că n-ar fi drept să se reproșeze unor fizicieni că nu au prevăzut consecințele descoperirilor științifice ce urmau abia să fie făcute.

Rutherford era mediocru ca matematician. Townsend și cu el au fost primii „studenți-cercetători" care au lucrat sub conducerea lui J.J. Thomson în Laboratorul Cavendish, în momentul cînd statutul calității de student-cercetător a fost pentru prima dată stabilit în mod oficial. Townsend, un irlandez spiritual și plin de farmec, care ulterior a devenit profesor la Oxford, a fost un bun matematician, iar oamenii spuneau că din această cauză — „deși, bineînțeles, amîndoi sînt savanți de mare valoare" — Townsend va ajunge mai departe. Și fiindcă a venit vorba, merită să povestim o anecdotă de pe vremea aceea, deși este mai puțin caracteristică pentru Rutherford decît pentru Townsend. Un distins fizician francez se afla în vizită la soții Thomson și cei doi studenți-cercetători au fost invitați la masă pentru a face cunoștință cu el. Francezul nu vorbea altă limbă decît cea maternă și nu părea prea familiarizat cu lumea din afara Franței, căci atunci cînd i s-a spus că Rutherford vine din Noua Zeelandă a holbat îngrozit ochii și a răspuns că crezuse că oamenii din acea țară au pielea neagră și, pare-se, se mai mănîncă între ei. Townsend vorbea bine franțuzește, pe cînd Rutherford, deși înțelegea, nu se putea exprima în această limbă, așa că Townsend a explicat că, desigur, neozeelandezii pretind că ar fi renunțat la asemenea practici — dar mai știi?...

Geniul lui Rutherford consta în faptul că poseda o intuiție aproape supraomenească pentru tot ce era fizică și un fler deosebit pentru conceperea unor experiențe extrem de simple, dar eficiente. În ambele privințe el a dat dovadă de ceea ce constituie în fond una și aceeași însușire, și anume capacitatea de a vedea ceea ce este esențial și de a da în lături tot restul. El ar fi repurtat succese în orice domeniu al vieții, în afară, poate, de cel artistic, dar intuiția sa în materie de fizică era un har special. Pentru el, atomii și particulele alfa erau la fel de reali ca și prietenii săi.

Era un om înalt și părea mai înalt chiar decît era în realitate. Ca aspect aducea a fermier înstărit, ceea ce nu e de mirare, dat fiind că crescuse într-o fermă. Avea niște maniere cam bruște, vorbea fără ocolișuri și era înzestrat cu o energie literalmente uriașă. Spunea adesea — mai în glumă, mai în serios — că în fizică teoreticienii ar trebui să-și cunoască lungul nasului, dar avea multă considerație pentru Niels Bohr, cu care lucrase un timp la Manchester. După fizică, disciplina cea mai importantă era, după părerea lui, chimia, dar la o distanță foarte mare. A fost un excelent îndrumător al „băieților" săi și aceștia îl iubeau atît pentru calitățile lui omenești, cît și pentru cele științifice. Deși foarte ocupat, el reușea să-și găsească timp atît pentru a preda cursuri cît și pentru cercetare. Prelegerile sale erau excelente, iar convorbirile sale particulare erau parcă și mai reușite. A fost perfect conștient de importanța lucrărilor sale (și cum ar fi putut fi altfel?) și totodată destul de mare pentru a fi la înălțimea lor. Cu ocazia uneia din descoperirile sale, un prieten i-a spus: „Ești un om fericit, Rutherford — totdeauna sus, pe creasta valului!" — „Așa-i, dar valul tot eu l-am creat, nu? — sau măcar în oarecare măsură". Credea în fizică și considera că este un domeniu imens în care merită să depui eforturi. În această privință nu avea nici cea mai mică îndoială.

A avut, poate, o singură mîhnire: moartea prematură a unicei sale fiice. Unul dintre nepoții săi este fizician.

5

Noțiunile de spațiu și timp. Puncte de vedere

Ideea de „sus" și „jos" este o idee intuitivă. Într-adevăr, avem un organ special — canalele semicirculare ale urechii interne — al cărui rol este să ne spună care este direcția „în sus", iar dacă acest organ greșește ne simțim de parcă am fi beți. Pentru mai multă precizie a fost inventat „firul cu plumb". Părea evident că toate firele cu plumb indicau aceeași direcție; existența unei direcții verticale comune trebuie să fi contribuit la crearea conceptului de linii paralele.

Cînd a fost emisă părerea că Pămîntul este o sferă, una dintre obiecții a fost aceea că oamenii de pe cealaltă parte a Pămîntului ar cădea în vid. Filozofii greci erau, în această privință, împărțiți. Atomiștii, adepți ai lui Democrit și Epicur — care în majoritatea privințelor s-au apropiat cel mai mult de concepția științifică — s-au dovedit a fi în această problemă lipsiți de clarviziune. Ei s-au cramponat de ideea că Pămîntul este plan și susțineau că toți atomii cad „în jos", în vid. Printr-o foarte ciudată contradicție, această eroare destul de absurdă a dus la o ipoteză strălucită pe care oamenii înzestrați cu multă imaginație o pot interpreta ca fiind o prefigu-

rare a „principiului de incertitudine", asociat azi cu teoria cuantică — dar aceasta e o digresiune. Alți greci acceptau ideea că Pămîntul este rotund, cu implicația că nu pretutindeni firele cu plumb sînt paralele. De fapt, Eratostene a făcut o măsurătoare remarcabil de bună a razei Pămîntului, măsurînd unghiul pe care-l formează Soarele la amiază în ziua solstițiului de vară cu două verticale, așezate în două locuri aflate de-a lungul Nilului, aproximativ la nord și la sud[1]. El trebuie să-și fi dat seama că „sus" și „jos" nu sînt direcții absolute și că greutatea de plumb are tendința să caute centrul Pămîntului, dar abia Newton a fost cel care a explicat acest fenomen ca o consecință a atracției pe care fiecare particulă a Pămîntului o exercită asupra greutății de plumb. **Această extindere a ideii de „sus" și „jos", în așa fel încît să corespundă formei sferice a Pămîntului, este unul din primele exemple de generalizare a unui concept. Este o remarcabilă performanță a imaginației a-și da seama că ceea ce pentru unul este „sus" și „jos", pentru altul poate defini direcția orizontală. A fost primul din numeroasele exerciții de acest fel la care știința l-a pus pe om.**

O altă sfidare a ideilor „bunului simț" a venit din partea astronomiei și se referea la mișcarea relativă, în cazul în speță mișcarea unghiulară sau momentul de spin. Pentru orice observator este evident că aproximativ o dată în 24 de ore, luate în ansamblu, stelele execută o rotație completă în jurul unui ax care trece cam prin Steaua Polară. Dacă admitem că Pămîntul este o sferă, atunci este aproape la fel de evident că, aparent, s-ar ajunge la același fenomen dacă Pămîntul s-ar învîrti iar stelele ar sta pe loc. După cum vom vedea mai tîrziu, există experiențe ce pot fi efectuate pe Pămînt și care, cel puțin la prima vedere, par să deosebească aceste două concepții, dar pe vremea cînd problema a fost dezbătută, asemenea experiențe nu erau cunoscute. Dar chiar dacă te-ai hotărît în privința stelelor, există totuși

[1] Lungimea „stadiului", unitatea de lungime folosită de el, nu este cunoscută cu precizie. Dacă însă este a zecea parte dintr-o milă din zilele noastre, atunci rezultatul obținut este practic absolut corect.

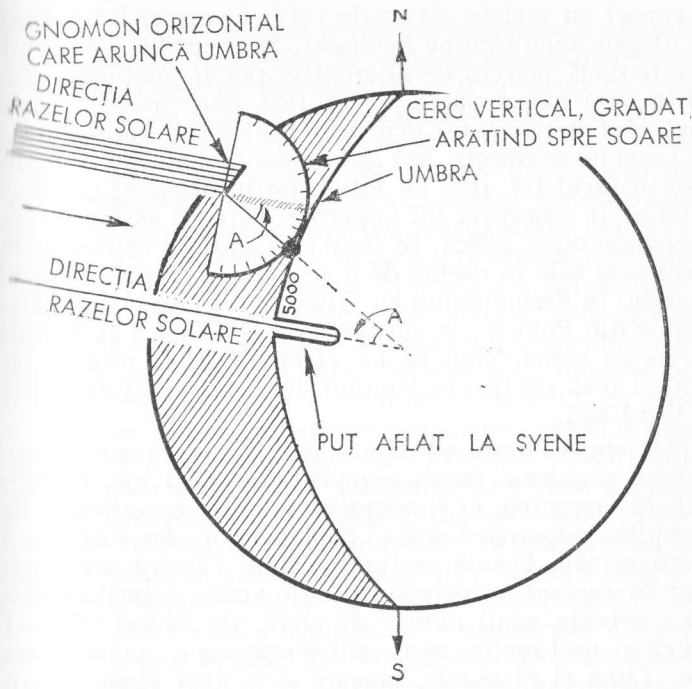


Fig. 7 Cum a măsurat Eratostene raza Pămîntului. În ziua solstițiului de vară, la ora 12, razele solare luminau fundul unui puț adînc, situat la Syene, departe în susul Nilului. În același timp, el a măsurat unghiul *A* dintre razele solare și un fir de plumb aflat la Alexandria, folosind probabil în acest scop umbra, după cum se arată în schiță. Se presupune că Alexandria era situată la 5 000 stadii nord de Syene. *A* este totodată și unghiul format de razele Pămîntului care trec prin Syene și Alexandria. Raza Pămîntului se află în același raport față de 5 000 de stadii ca și raza cercului gradat față de arcul dintre firul de plumb și umbră.

două alternative în privința Soarelui. Soarele răsare și apune zilnic în locuri puțin diferite în raport cu stelele ce pot fi văzute în apropierea lui; el se deplasează treptat pe cer. Această observație echivalează cu a spune că linia care unește Pămîntul și Soarele — mai precis, centrele lor — se rotește încet (de fapt, o rotație completă pe an)

în raport cu stelele. Avem deci și în acest caz latitudinea să alegem cine rămîne nemișcat, Soarele sau Pămîntul. Aceste două perechi de alternative pot fi combinate, astfel încît ar exista patru posibilități, dar, practic, numai două sînt importante. Prima ar fi aceea că Pămîntul stă pe loc și nu se rotește, așa încît Soarele și stelele se învîrtesc în jurul lui, deși cu viteze puțin diferite; cea de-a doua ar fi concepția lui Copernic, potrivit căreia stelele și Soarele nu se mișcă, în timp ce Pămîntùl se rotește în jurul axei sale în decurs de o zi[1] și se învîrtește în jurul Soarelui în decurs de un an. Hicetas din Siracuza și Heraclide din Pont (n. în jurul anului 388 î.e.n.) au fost de părere că stelele stau pe loc și Pămîntul se rotește, rămînînd însă centrul sistemului, iar Soarele învîrtindu-se în jurul său.

Astronomii greci au depus mari eforturi pentru a soluționa problema, mult complicată — deși nu modificată în aspectele ei fundamentale — de necesitatea de a explica mișcarea Lunii și a planetelor. Au fost emise cîteva soluții, bazate pe ipoteza unui Pămînt nemișcat, aflat în centrul universului. Toate aceste soluții necesitau existența unui număr de sfere, de obicei treizeci sau chiar mai multe, care erau presupuse a „purta" Soarele, Luna și planetele, precum și a unei sfere pentru stele. Nu este clar în ce măsură aceste sfere invizibile erau considerate ca avînd o existență reală — așa cum s-a crezut, de pildă, despre substanța gelatinoasă a eterului din secolul al XIX-lea — sau nu erau decît un mod matematic de descriere, ca eterul într-o concepție mai modernă. Diferiții autori aveau probabil păreri diferite. Aceste teorii au fost deosebit de valoroase, deoarece erau teorii cantitative, menite să corespundă faptelor observate, să „salveze fenomenele" — cum se spunea pe atunci — , idee care a căpătat cea mai mare importanță atunci cînd a fost pentru prima dată introdusă în știință cu toată claritatea și cu o valabilitate generală. Într-un grup de teorii — datorat lui Eudoxus și dezvoltat apoi de Aristotel — sferele erau concentrice cu Pămîntul, dar avînd axele înclinate sub diferite unghiuri și rotindu-se pe niște suporturi imaginare, purtate la rîndul lor de alte sfere. Un alt grup de teorii — care erau în general mai răspîndite în evul mediu, deși e îndoielnic că au reprezentat un progres — se datorau lui Ptolemeu. Acesta din urmă a introdus în teoria sa „epiciclii", adică mișcări ca acelea ale unor sfere care se rostogolesc înăuntrul sau pe suprafața exterioară a altor sfere, presupuse a avea drept centru Pămîntul.

[1] Riguros vorbind, această zi este ziua siderală care diferă de ziua solară obișnuită cu circa 1/365,25.

În jurul anului 250 î.e.n., Aristarh din Samos a propus o structură heliocentrică a universului, concepție ce a fost dată uitării, astfel încît atunci cînd Copernic a emis cunoscuta sa teorie el a făcut de fapt o descoperire originală. Cartea lui Copernic, publicată în 1543, cu puțin înaintea morții lui, l-a inspirat pe Galilei și pînă la urmă a ieșit învingătoare în lupta cu concepțiile tradiționale. Această mare schimbare a punctului de vedere a avut o imensă influență asupra gîndirii omenești, transformînd Pămîntul într-un astru subordonat Soarelui și stelelor. Prin intermediul astronomului Kepler, această teorie a avut drept urmare teoria gravitației elaborată de Newton. În locul teribilei complicații a sistemului de sfere, planetele se mișcau acum de-a lungul unei curbe binecunoscute, o elipsă avînd drept focar Soarele, iar mișcarea se supunea altor două legi foarte simple. Teoria lui Copernic a devenit punctul de plecare al unor noi progrese, pe care ideile lui Ptolemeu sau Eudoxus nu le-ar fi permis niciodată, deși, introducînd un număr suficient de sfere, s-ar fi putut „salva fenomenele" cu o precizie destul de mare. Dar, deși este un lucru necesar, nu este totuși suficient ca o teorie să ofere o explicație a faptelor; ea trebuie să se folosească și de concepte adecvate. Conceptele de orbită și de forță centripetă nu au simplificat numai calculele matematice, dar — lucru și mai important — au putut fi aplicate și altor domenii. După cum și-a dat Newton seama în acea celebră ocazie, Luna și un măr care cade sînt exemple ale unuia și aceluiași efect.

În această evoluție putem vedea începutul unei înțelegeri a mișcării relative, în cazul de față a spinului relativ, o idee care a intrat în știință, ca să zicem așa, pe ușa din dos. Va mai trebui să vorbim despre ideea spinului rela-

tiv, dar mai întîi este indicat să spunem cîte ceva despre un tip mai simplu de mișcare relativă — și anume despre mișcarea rectilinie. Pentru a o studia, este necesar să examinăm mai îndeaproape **conceptele de timp și de spațiu**.

În zilele noastre, pentru fizician spațiul reprezintă un ansamblu de relații de un gen special între obiecte. De regulă, aceste relații reclamă măsurări de distanțe și unghiuri, sau cel puțin o apreciere a lor, ceea ce nu este decît un alt termen pentru a desemna o măsurare imprecisă. Unele relații au însă un caracter calitativ, ca de pildă deosebirea dintre interiorul și exteriorul unei coji (nerupte) de portocală, coajă care în esență rămîne neschimbată, oricît de presată sau de deformată ar fi ea, cu condiția să nu fie ruptă.

Trebuie menționat că nu sînt posibile măsurători decît dacă avem la dispoziție drept etaloane de măsurare corpuri aproximativ rigide, așa încît să poată rămîne cît mai apropiate de o linie dreaptă. Nu este însă necesar ca ele să fie absolut rigide. Topograful poate ține seama (lucru pe care, de altfel, îl și face) de schimbarea dimensiunii vergelelor sau ruletelor sale de măsurat—schimbare datorată căldurii sau suprasolicitării — , dar aceste schimbări el nu le poate măsura decît dacă recurge, pentru comparație, la un obiect putînd fi considerat practic neschimbat ca dimensiuni. Chiar dacă am încerca să folosim ca linii drepte naturale razele de lumină, ceea ce la scară astronomică ar fi admisibil, ele nu vor putea fi de folos la măsurarea unghiurilor de observare dacă nu dispunem de un sextant sau teodolit rigid.

Newton credea într-un spațiu absolut, așa încît un corp s-ar putea afla într-o stare de repaus absolut. Dar legile mecanicii stabilite de el sînt de asemenea natură încît o mișcare uniformă absolută nu poate fi detectată. După Newton, un grup de corpuri se vor comporta exact în același fel, oricare ar fi viteza lor absolută în linie dreaptă, cu condiția ca vitezele lor relative să fie aceleași. *El credea și într-un timp absolut.* În această privință, pare să-l fi preocupat dificultatea de a avea siguranța care anume ceas din mai multe indică ora exactă. Așa, de pildă, timpul măsurat cu ajutorul mișcării aparente a stelelor

este diferit de cel măsurat cu ajutorul Soarelui, nu numai pentru motivul că are anual o zi siderală în plus față de numărul zilelor solare, dar și fiindcă relația dintre cele două timpuri variază întrucîtva în funcție de anotimp. Din motive teoretice, Newton a considerat — și pe bună dreptate — că timpul sideral este cel „corect", deși din motive de comoditate folosim o zi solară medie, ceea ce reprezintă o ficțiune și nu e în concordanță totală cu Soarele. De aceea diminețile sînt atît de întunecoase după răciun, deși serile sînt tot mai luminoase. Pe vremea lui Newton, ceasurile nu erau foarte precise, dar acum se poate demonstra că ceasurile bune — indiferent dacă depind de un pendul sau de un balansier reglat de un arc, de cristale de cuarț oscilante sau de oscilații moleculare — vor concorda între ele, precum și cu mișcarea aparentă a stelelor, dar nu și cu aceea a Soarelui.

„Ceasul" este de fapt un dispozitiv pentru a număra de cîte ori are loc un anumit proces — oscilația unui pendul, a unui cristal sau rotația Pămîntului. În acest scop se pornește de la ipoteza că procesul se desfășoară întotdeauna într-un timp egal, această ipoteză fiind justificată de faptul că un mare număr de asemenea procese dau rezultate concordante.

Dar expresia „timp absolut" poate fi folosită și în alt sens. Ea poate fi înțeleasă în sensul că timpul este același pentru toți și este probabil că Newton așa a înțeles-o. Dar în acest caz a greșit. Dacă persoane aflate la distanțe foarte mari unele de celelalte vor să-și compare ora, ele trebuie fie să folosească același ceas, fie să-și pună ceasurile de acord. Pe Pămînt oamenii pot folosi același ceas, și anume stelele văzute de pe Pămîntul nostru aflat în rotație, și aceasta reprezintă tot ceea ce avem nevoie pentru *intervalele* de timp — de pildă, pentru a compara performanțele unor alergători. Dacă doresc însă *să-și cronometreze* ceasurile după stele, ei vor trebui să cunoască diferența de longitudine, deoarece la diferite longitudini steaua se va afla la zenit în momente diferite. Pentru fiecare grad de longitudine, timpul se modifică cu patru minute. Înainte vreme, două cronometre de foarte bună calitate și puse de acord erau presupuse a nu-și schimba mersul cînd sînt transportate pe mare; combinînd citirea lor

cu o măsurătoare astronomică, se stabilea longitudinea — raționamentul fiind, așadar, inversat. Azi, cînd avem la dispoziție telegraful și radioul, care transmit semnalele cu o viteză apropiată de cea a luminii, ceasurile pot fi sincronizate direct și totodată longitudinea poate fi stabilită cu o mare precizie. Teoretic, trebuie să se țină seama de timpul cît durează transmiterea semnalului, deși el străbate întregul glob terestru în mai puțin de 1/10 secunde. În acest scop se retransmite semnalul în clipa cînd este recepționat. Se consideră că jumătate din timpul scurs între transmiterea primului semnal și primirea semnalului de înapoiere este durata necesară pentru ca semnalul să parcurgă drumul în oricare din sensuri. Acest procedeu pornește, bineînțeles, de la premisa că durata este aceeași atît la ducere cît și la întoarcere. Atît timp cît cele două puncte sînt în repaus unul față de celălalt, procedeul este pe deplin satisfăcător.

Dacă vom putea intra vreodată în comunicație cu ființe aflate departe în Cosmos, le vom putea face să înțeleagă unitățile noastre de timp referindu-ne la procesele atomice. Așa, de pildă, radiația datorată hidrogenului care are lungimea de undă de 21 cm, precumpănitoare în radiația cosmică, ar putea fi folosită pentru a explica ce anume este un centimetru, iar oscilația unuia din ceasurile moleculare naturale ar oferi unitatea de timp.

Dificultățile pe care le prezintă timpul și spațiul au început să apară atunci cînd Maxwell a izbutit pentru prima oară să stabilească în mod corect legile privind relațiile dintre mărimile electrice și cele magnetice. În treacăt fie spus, teoria lui a prezis pentru prima dată existența undelor electromagnetice, descoperite ulterior de Hertz pe cale experimentală și care azi poartă denumirea de unde radio. Această teorie mai implică și faptul că lumina este ea însăși o formă de unde electromagnetice și prezice în mod corect că viteza luminii poate fi calculată prin măsurători electrice și magnetice efectuate în laborator. Ecuațiile lui Maxwell — spre deosebire de cele ale lui Newton — implică și existența unui repaus absolut, în sensul că un grup de corpuri aflate în „repaus" trebuie să se comporte altfel decît același grup aflat într-o mișcare constantă. Așa, de pildă, un condensator electric încărcat

avînd plăci paralele ar trebui să manifeste o tendință spre rotație atunci cînd se află în mișcare, dar nu și cînd se află în repaus. La început, această particularitate a teoriei lui Maxwell nu a surprins și nici nu a deranjat pe nimeni. Fizicienii din secolul al XIX-lea erau obișnuiți cu ideea eterului și, cu toate că eterul lui Maxwell era foarte ciudat, ideea eterului era de fapt conținută implicit în teoria sa. Eterul a oferit un binevenit sistem de referință, necesar pentru a da un înțeles noțiunii de repaus absolut. Oricui ar fi ridicat obiecții de ordin filozofic față de ideea repausului absolut, i se putea răspunde că ea înseamnă „în repaus față de eter".

Din păcate, întotdeauna experiențele efectuate pentru a detecta mișcarea Pămîntului în eter au eșuat. Într-adevăr, dat fiind că Pămîntul se învîrtește în jurul Soarelui, el nu poate fi „în repaus" în tot cursul anului, chiar dacă la o anumită dată mișcarea sa în jurul Soarelui ar fi anulată de mișcarea (necunoscută) a Soarelui însuși. Dar viteza cu care se mișcă Pămîntul pe orbită este de numai aproximativ 1/10 000 din viteza luminii, așa încît tot ce pot spera experimentatorii este de a obține un efect foarte mic.

O modalitate de a ieși din această situație ar fi fost aceea de a respinge teoria lui Maxwell, ceea ce poate s-ar fi întîmplat, în ciuda marelui ei succes, dacă celebra încercare făcută de către Michelson pentru a detecta aceeași mișcare prin mijloace optice nu ar fi suferit de asemenea un eșec. În această experiență lumina provenită de la o sursă este împărțită în două fascicule de către o oglindă slab argintată, așa încît să reflecte o parte a luminii, iar pe cealaltă s-o transmită mai departe. Fiecare din aceste două fascicule străbate aceeași distanță dus și întors, dar în direcții diferite, sub un unghi de 90° — adică unul în direcția est-vest, iar celălalt în direcția nord-sud. Apoi ele sînt suprapuse și produc benzi luminoase și întunecate, denumite „franje de interferență". În ipoteza că lumina este o mișcare ondulatorie, poziția franjelor determină într-adevăr *diferența* dintre timpii necesari celor două fascicule pentru a parcurge drumul lor egal, dar în direcții diferite. Dacă aparatul s-ar mișca efectiv în eter, un calcul simplu arată că timpul

total necesar pentru parcurgerea drumului — dus ș
întors — în direcția fluxului ar fi cu ceva mai mare dec
cel necesar parcurgerii aceleiași distanțe dus și întor
dar de-a curmezișul fluxului. Direcția mișcării, dac
în general există vreuna, nu este cunoscută, dar aparat
poate fi rotit în așa fel încît drumul care într-o pozi
necesită un timp mai îndelungat să fie parcurs în ce
laltă poziție a aparatului într-un timp mai scurt. Nu
fost observată însă nici o deplasare semnificativă a fra
jelor. Experiența efectuată de Michelson se bazează p
un raționament de ordin foarte general cu privi
la unde, raționament valabil pentru aproape toat
felurile de unde în aproape toate felurile de ete
inclusiv pentru undele electromagnetice ale lui Max
well. Dificultatea nu ar fi înlăturată nici dacă am mo
difica puțin teoria lui Maxwell și nici chiar dacă a
înlocui-o printr-una din celelalte teorii ondulatori
propuse — destul de numeroase, de altfel. Altă cale d
a înlătura dificultatea ar fi aceea de a presupune că eteru
este tîrît cu sine de Pămînt în mișcarea acestuia, da
această concepție nu poate fi pusă în concordanță c
binestabilita „aberație a luminii". Fiecare stea pare s
descrie pe cer, în decurs de un an, o minusculă orbit
avînd exact dimensiunea pe care ar trebui să o aibă î
urma mișcării relative a Pămîntului și a luminii provenit
de la stea, în cazul că Pămîntul s-ar mișca prin ete
Dacă Pămîntul duce cu sine eterul, explicația nu ma
este valabilă fără a presupune că eterul este antrenat
la suprafața Pămîntului.

Experiența Michelson-Morley a fost efectuată în 1887
În 1892 fizicianul irlandez Fitzgerald și, aproape conco
mitent, marele fizician olandez Lorentz au emis o ide
ingenioasă, menită să poată concilia faptele cu idee
eterului. Ei au presupus că orice corp, oricît de rigid a
fi el, în timp ce se mișcă prin eter se contractă în direcți
mișcării cu o mică fracțiune din lungimea sa, în tim
ce pe direcția lățimii dimensiunile sale rămîn neschim
bate. Pentru viteze obișnuite — foarte mici în compa
rație cu viteza luminii — contractarea este infimă, da
mică sau mare, ea nu ar putea fi niciodată detectat
printr-o măsurătoare obișnuită, deoarece instrumentu

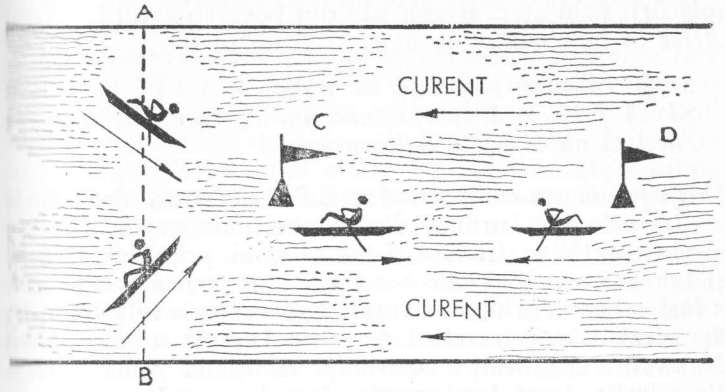


Fig. 8 Experiența Michelson-Morley.
În imagine *AB* este egal cu *CD*. Omul care vîslește de la *A* la *B* și înapoi de la *B* la *A* de-a curmezișul curentului trebuie să-și îndrepte barca în amonte pentru a compensa curentul care îl duce în aval. El are totuși un mic avantaj asupra omului care vîslește direct în amonte de la *C* la *D* și apoi direct în aval de la *D* la *C*. În experiență, un fascicul de lumină este împărțit în două părți. O parte merge „în amonte", este reflectată și se înapoiază „în aval". Cealaltă străbate de-a curmezișul curentului o distanță egală și este de asemenea reflectată. Cele două părți sînt apoi suprapuse și produc un model de franje luminoase și întunecate care indică diferența de timp pentru cele două traiectorii ale fasciculelor.

de măsurare s-ar contracta în aceeași proporție. Contracția explică absența vreunui efect în experiența Michelson-Morley. Pe vremea aceea, fizicienii începuseră tocmai să-și dea seama că forțele de coeziune sînt de natură electromagnetică, așa încît nu era ilogic ca ele să fie afectate de mișcarea prin eter și deci — dacă sînt afectate — dimensiunile obiectului respectiv să se modifice. Dar pentru a putea fi explicate toate experiențele mai trebuie să se presupună și că ceasurile care se mișcă prin eter rămîn în urmă cu aceeași fracțiune cu care se scurtează corpurile rigide. Nici acest lucru nu era complet neplauzibil, dar întreaga idee începea să capete un caracter artificial. Dădea impresia că există o conspirație din partea legilor naturii pentru a împiedica observarea

mișcării prin eter. Regele alb din povestirea lui L. Carrol *Alice în țara minunilor* avea și el un plan

Să-și coloreze barbetele în verde
Și să folosească întotdeauna un evantai atît de mar
Încît să nu le poată vedea nimeni.

Dar o asemenea comportare ar fi fost nedemnă de Natură.

În cele din urmă, Poincaré — cunoscutul fizician și matematician francez, frate al unui prim-ministru — și Lorentz au ajuns la o concepție mai radicală. **Poincaré a fost cel care, primul, a vorbit despre „teoria relativității", dar dezvoltarea teoretică de către Lorentz a teoriei lui Maxwell a constituit o contribuție esențială. Noua concepție admite drept fundamental faptul că măsurarea mișcării prin eter este o imposibilitate, ceea ce, practic, revine la a respinge ideea de eter. O afirmație aproape echivalentă este și aceea că viteza luminii este aceeași pentru toți observatorii**[1]. Această afirmație este însă surprinzătoare. Bunul simț ar trebui să ne ducă la concluzia că — indiferent dacă lumina este un flux de particule, așa cum credea Newton, sau dacă reprezintă unde, cum se crezus în secolul trecut—ea ar trebui să pară mai rapidă unu observator care s-ar deplasa în direcția sursei de lumin decît celui care se deplasează în direcția opusă.

Devenea necesar să se reconsidere concepțiile admise despre spațiu, timp și mișcarea relativă. *În special trebuia analizate afirmațiile pe care observatorii care se mișcă unu în raport cu celălalt le-ar face cu privire la dimensiunil obiectelor sau la momentul cînd au loc evenimentele. Di punct de vedere matematic nu există virtual* decît o singur soluție posibilă dacă viteza luminii trebuie să fie aceea pentru toți. Această soluție (cunoscută sub denumire de *„transformarea Lorentz"*) implică, printre altele *contracția lungimilor și încetinirea mersului ceasornicelo* idei care fuseseră sugerate anterior ca niște ipoteze destu de arbitrare.

[1] Riguros vorbind, acest lucru este adevărat numai atun cînd lipsește orice accelerație, dar teoria inițială nu a ținu seama de aceasta.

Dar cum nu mai există un eter cu un observator privilegiat, lungimea unui obiect va părea oricărui *observator pe lîngă care se mișcă obiectul mai scurtă decît unuia care se află în repaus în raport cu obiectul în cauză; de asemenea, un ceasornic va părea că rămîne în urmă* oricărui *observator pe lîngă care se mișcă, indiferent de direcția mișcării. În plus,* **nu mai există o simultaneitate absolută și nici o ordine temporală absolută.** *Vom vedea cum pentru un observator două evenimente pot să se fi produs într-o anumită ordine, iar pentru alt observator care trece pe lîngă primul, în ordine opusă — dar numai atunci cînd cele două evenimente se produc la mare distanță unul de celălalt. Evenimentele care se produc în același loc păstrează aceeași ordine de succesiune pentru toți observatorii.*

Timpul pe care un observator îl stabilește pentru producerea unui eveniment foarte îndepărtat include și timpul necesar ca lumina emisă de evenimentul respectiv să ajungă pînă la dînsul. Să presupunem că doi observatori, aflați aproape unul de celălalt, dar mișcîndu-se în direcții opuse, observă același eveniment, de pildă nașterea unei supernove într-o direcție pe care, pentru simplificare, o vom considera a fi aceeași ca și cea a mișcării relative. Să mai presupunem că ei trec unul pe lîngă celălalt în clipa în care amîndoi văd noua stea și, de asemenea, că știu la ce distanță se află ea.

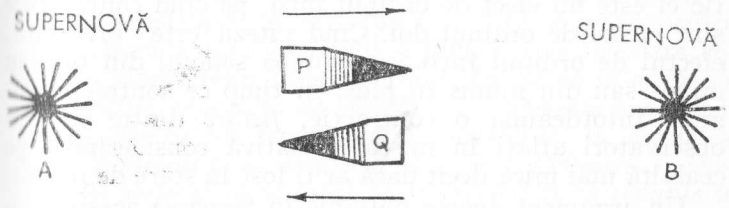


Fig. 9 Simultaneitate, anterioritate, posterioritate.
Cei doi observatori P și Q sînt arătați trecînd unul pe lîngă celălalt în momentul în care fiecare dintre ei observă nașterea a două supernove A și B, acestea din urmă aflîndu-se în repaus una față de cealaltă și totodată la aceeași distanță de P și Q. P va ajunge la concluzia că „în realitate" supernova B s-a născut înaintea supernovei A, iar Q — că evenimentul A s-a produs „în realitate" înaintea evenimentului B.

Dacă unul se îndepărtează de stea, iar celălalt se apro pie de ea cu viteze egale[1], contracția distanței sau înce tinirea mersului ceasornicului vor fi egale pentru amîn doi, dar unul va conchide că distanța de la care lumin a fost emisă în realitate este mai mare decît distanț la care s-a aflat cînd a văzut lumina, în timp ce celă lalt va conchide că era *mai mică*. Cînd fiecare dintr ei a efectuat corecția — pornind de la ideea că lumina așa cum se presupune, are o *viteză constantă* —, aprecie rea timpului cînd a avut loc emisia este diferită, unul putînd, de pildă, presupune că evenimentul a avut loc cu 1 000 de ani în urmă, iar celălalt — cu 1 100 de ani. (Ei ar fi ajuns la aceeași apreciere dacă, înainte de a efectua calculul, fiecare dintre ei ar fi adăugat sau scă zut din viteza luminii propria sa viteză, dar acest lucru ar fi contrar ipotezei că viteza luminii este constantă.) Dacă în momentul cînd cei doi observatori au trecut unul pe lîngă celălalt ar fi fost văzută o altă supernovă la aceeași distanță, dar în direcție opusă, datele ar fi fost inversate. În felul acesta, fiecare ar presupune că evenimentul (în cazul nostru explozia stelară) spre care se îndreaptă ar fi avut loc „în realitate" mai întîi. Per ceperea efectivă a supernovelor de către cei doi obser vatori constituie evenimente cu adevărat simultane doar dacă ele se produc în același loc. Efectul simultaneității poate fi mai mare decît contracția. În limbaj matema tic el este un efect de ordinul întîi, pe cînd contracțiile sînt efecte de ordinul doi. Cînd viteza este inversată, efectul de ordinul întîi își schimbă semnul din plus în minus sau din minus în plus, în timp ce contracția rămîne întotdeauna o contracție, *fiecare* dintre cei doi observatori aflați în mișcare relativă considerînd-o pe cealaltă mai mică decît dacă ar fi fost în stare de repaus.

Un argument foarte puternic în favoarea acestei teorii îl constituie faptul că aceleași relații matematice care fac ca viteza luminii să fie aceeași pentru toți sînt echivalentul ecuațiilor lui Maxwell, care devin astfel

[1] Viteza relativă de-a lungul direcției stea—observator poate fi determinată pe baza modificărilor ce au loc în lumina stelei, cu ajutorul analizei spectroscopice.

la fel de valabile pentru toți observatorii. **Principiul relativității afirmă că legile fizice fundamentale au aceeași formă pentru toți observatorii care trec unii pe lîngă ceilalți în linie dreaptă și cu o mișcare uniformă.** În felul acesta, ecuațiile lui Maxwell sînt acum în concordanță cu acest principiu. **Trebuie menționat că acest principiu reprezintă afirmația că legile sînt a b s o l u t e.** Expresia „principiul relativității" constituie un exemplu al ambiguității ce poate rezulta dintr-o formulare imprecisă, ambiguitate analogă cu aceea ce ar rezulta dacă am folosi expresia „principiul războiului" în locul expresiei „principiul autodeterminării". *Principiul relativității ne arată cum anume să tratăm mișcarea relativă*; *el* **nu** *spune că această mișcare ar fi deosebit de importantă sau de dorit, și cu atît mai puțin că totul ar fi relativ.*

Deși acest mod de a trata lucrurile evită unele dificultăți, aceasta se realizează numai cu prețul unei serioase violări a bunului simț. Este îndoielnic că principiul relativității s-ar fi bucurat de o acceptare generală fără remarcabilele sale aplicații în mecanică — datorate în bună parte lui Einstein — și avînd drept rezultat preziceri privind identitatea dintre masă și energie, identitate ce și-a găsit o strălucită verificare în fizica nucleară. Dar despre acest subiect vom vorbi într-unul din capitolele următoare. Relativitatea „restrînsă" — cum este denumită această formă a relativității — constituie un exemplu din care se poate vedea că înțelegerea justă a fizicii depinde de o abordare corectă a conceptelor fundamentale. *În loc să se ocupe de dificultățile provocate de rezultate experimentale neașteptate și, pentru un teoretician, deconcertante, în loc să se dedea la cîrpeli și la umplerea de goluri, Poincaré și Einstein au preferat să ia totul de la început și să renunțe la concepte cum ar fi acela al succesiunii absolute a evenimentelor. Un asemenea concept — întru totul corespunzător în viața obișnuită — se dovedește a fi neadecvat atunci cînd este vorba de viteze foarte mari.*

Relativitatea „restrînsă" nu se ocupă decît de vitezele constante în linie dreaptă. Ce se întîmplă însă cînd viteza se schimbă fie ca mărime, fie ca direcție? O asemenea schimbare a vitezei este denumită accelerație,

cuvîntul fiind folosit ca termen general. O descreștere a vitezei este considerată drept accelerație negativă, iar schimbarea direcției drept o accelerație în unghiuri drepte față de viteză. Accelerația este mărimea în jurul căreia este construită mecanica lui Galilei și Newton. Forțele sînt cunoscute prin accelerația pe care o produc. În cazul particulei, aceasta din urmă este întotdeauna egală cu forța împărțită la masă[1].

Printre aceste forțe se numără și gravitația. Ea este unică în felul ei, deoarece e singura care (în orice loc) este întotdeauna proporțională cu masa corpului asupra căruia acționează. Ceea ce înseamnă că în orice loc accelerația datorată gravitației este constantă sau, mai pe scurt, că toate corpurile, pornind din starea de repaus, cad la fel de repede. Galilei a fost primul care a stabilit această lege prin celebra sa experiență, cînd, de pe turnul înclinat din Pisa, a lăsat concomitent să cadă o greutate de 1 livră[2] și una de 100 de livre, demonstrînd că ambele ajung jos în același (sau aproape același) timp. Rezultatul venea în contradicție cu concepția adepților lui Aristotel, care erau de părere că vitezele trebuie să fie proporționale cu greutatea corpurilor. Experiența lui Galilei nu a fost de o mare precizie, dar experiențele efectuate cu pendulul — greutatea pendulului fiind în fond un corp care cade cu o viteză moderată — au confirmat legea cu o precizie de 1 : 1 000 000.

Datorită acestei stranii proprietăți a gravitației, oamenii aflați într-o navă spațială, o dată ce au ieșit din atmosferă, nu pot spune dacă ei „cad" sau în ce direcție acționează gravitația. Chiar la o înălțime de numai 200 de mile, unde gravitația mai are încă 90% din valoarea ei la suprafața Pămîntului, în interiorul navei ea nu poate fi apreciată, deoarece atît nava cît și tot

[1] Cînd acționează mai mult decît o singură forță, accelerațiile rezultate se adună, ținîndu-se seama de direcțiile lor, sau, cu alte cuvinte, forțele pot fi combinate potrivit unei legi simple care permite să se afle o singură „rezultantă", adică forța utilă care poate să înlocuiască ansamblul forțelor în cauză.

[2] 1 livră = 0,453 kg *(N.T.)*.

ce se află în interiorul ei au o accelerație egală. Pentru a menține obiectele laolaltă sau pentru a le separa în mod lent nu este nevoie de nici o forță, iar dacă două dintre ele se distanțează unul de celălalt, nu există nimic ce le-ar putea aduce înapoi. Cînd acționează însă o altă forță — o rachetă cu reacție, de pildă —, accelerația navei spațiale, determinată de rachetă, va avea drept urmare că toate corpurile nefixate din interiorul navei se vor deplasa spre unul din pereții navei în direcția exploziei rachetei, de parcă ar fi căpătat brusc „greutate".

Teoria relativității generalizate, enunțată de Einstein, reprezintă o încercare de a generaliza teoria relativității „restrînse", înglobînd o r i c e fel de mișcare relativă. Cel mai mare succes această teorie l-a repurtat ca teorie a gravitației, în competiție cu teoria lui Newton. Ea pornește de la acceptarea ca fenomen fundamental a remarcabilei constante a accelerației într-un loc dat. Ea postulează că un cîmp gravitațional uniform nu poate fi deosebit de starea de accelerație uniformă, fiind de fapt chiar identic cu această din urmă stare. O asemenea situație nu poate fi detectată prin experiențe interne, ci numai prin observarea a ceva ce se află în exterior. Așa, de pildă, puternicul cîmp gravitațional al Soarelui, din a cărui cauză Pămîntul se învîrtește în jurul Soarelui în decurs de un an, nu poate fi detectat pe Pămînt sau, mai corect zis, nu ar putea fi detectat dacă ar fi uniform. Dar fiindcă este puțin mai intens în partea Pămîntului care se află cu fața spre Soare decît în partea opusă, se produc efecte de maree ce se manifestă sub forma diferenței dintre mareele înalte și cele joase. Această diferență detectabilă este însă de 5 000 de ori mai mică decît efectul principal, pe care nu l-am cunoaște dacă nu am vedea Soarele pe fundalul stelelor și, în felul acesta, nu am deduce mișcarea orbitală a Pămîntului.

Teoria relativității generalizate merge însă mai departe decît echivalența dintre gravitație și accelerație. Ea afirmă că o r i c e lege fundamentală, nu numai cea a gravitației, trebuie să poată fi exprimată într-o formă care să fie aceeași pentru toți observatorii, chiar pentru

cei care se mișcă accelerat unul față de celălalt. Această afirmație are un puternic caracter matematic, care impune anumite limitări formei matematice pe care o pot îmbrăca legile naturii. Ea *nu* înseamnă că toți observatorii vor observa aceleași efecte. Așa, de pildă, în virtutea relativității restrînse, care se ocupă exclusiv de viteze, un observator care trece pe lîngă o sarcină electrică va observa o forță magnetică datorată acestei sarcini, dar un om aflat în repaus în raport cu ea nu va observa nici o forță.

Această problemă matematică, și anume de a formula legi care, ca formă, trebuie să fie la fel de valabile pentru toți, este cert dificilă, dar Einstein a rezolvat-o. S-a dovedit — lucru destul de surprinzător — că pentru gravitație există o lege specială de acest fel, lege în asemenea măsură mai simplă decît oricare alta încît s-a impus de la sine. Din păcate, aplicarea ei este dificilă și nu a fost elaborată decît pentru cîteva cazuri foarte simple. Cînd gravitația este slabă, rezultatul nu se poate deosebi de legea lui Newton, care afirmă că două particule se atrag cu o forță direct proporțională cu produsul maselor lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele.

Sîntem înclinați să considerăm gravitația drept o forță puternică, dar de fapt ea este foarte slabă. Două sfere de plumb, cîntărind fiecare (pe Pămînt) o tonă și ale căror centre se află la o distanță de un metru una față de cealaltă, se atrag cu o forță egală cu aproximativ 0,01 g. Gravitația ne impresionează, fiindcă Pămîntul — cel care exercită atracția — este, după criteriile noastre obișnuite, un corp foarte mare.

Nu este deci surprinzător că pentru majoritatea cazurilor cunoscute teoriile lui Newton și Einstein ajung la aceleași rezultate. Nu cunoaștem decît trei efecte, toate slabe, prin care pot fi deosebite — o particularitate a mișcării planetei Mercur, devierea luminii stelare cînd trece în apropierea Soarelui și o modificare a lungimii de undă a luminii emise într-un cîmp gravitațional. În toate trei cazurile experiențele concordă — în măsura în care era de așteptat — cu previziunile teoriei lui Einstein, dar efectele sînt atît de mici încît procentul erorilor este destul de ridicat și

concordanța nu prea precisă, cu excepția ultimului caz, pentru care recente experiențe cu radiații Roentgen, care reprezintă o formă a luminii, au demonstrat o concordanță bună. Din păcate, acest test este cel mai puțin concludent, deoarece același rezultat poate fi anticipat dacă se presupune că energia radiațiilor Roentgen se modifică sub acțiunea gravitației, la fel cum se modifică aceea a unui glonte. Dat fiind că în ambele cazuri energia este în esență aceeași, ar fi surprinzător dacă atît în energia radiațiilor Roentgen cît și în aceea a glontelui nu s-ar produce o schimbare similară.

Sînt puțini acei fizicieni care se îndoiesc că în privința exactității teoria lui Einstein este superioară teoriei lui Newton, deși este mult mai greu să o aplici. Teoria lui Newton vine în contradicție cu relativitatea restrînsă. Riguros adevărată ea nu poate fi decît pentru un observator deosebit de privilegiat. Dacă, de pildă, ar fi corectă pentru un observator care s-ar afla în repaus în raport cu Soarele, teoria nu ar mai fi riguros exactă pentru un observator de pe Pămînt. Dar relativitatea generalizată nu exercită aceeași atracție irezistibilă ca relativitatea restrînsă. Ea nu este necesară pentru explicarea unui șir de experiențe cu rezultate nule, ca în cazul relativității restrînse. În realitate, accelerația absolută sub forma spinului este detectabilă. Se poate demonstra că Pămîntul se rotește, și lungimea zilei (siderale) poate fi măsurată prin experiențe efectuate în laborator, fără a vedea Soarele sau vreo stea. Dacă un pendul este atîrnat de un pivot care să permită o rotație liberă, iar apoi este pus să penduleze, planul mișcării sale va părea că se schimbă, pur și simplu din cauză că sub el Pămîntul se învîrtește. Acest așa-numit pendul Foucault, deși vechi de un secol, nu este un dispozitiv de precizie. Este greu de găsit un suport care să nu imprime pendulului propria sa mișcare de rotație. Dar busola giroscopică — nelipsită azi din echipamentul normal al oricărui vapor —, deși este un dispozitiv mult mai complicat și mai greu de înțeles, se bizuie în esență pe același principiu de bază. Ea poate da rezultate de mare precizie și se comportă așa cum o cere teoria lui

Newton. De aceea este posibil să se măsoare două „zile": una reprezentînd timpul necesar pentru o rotație a Pămîntului în raport cu stelele vizibile, iar cealaltă — ziua pur mecanică, măsurată cu ajutorul pendulului Foucault, respectiv cu un echivalent al lui. Aceste două zile concordă una cu alta, ceea ce este un fapt remarcabil. În acest sens, stelele constituie un sistem de referință cu proprietăți speciale și în raport cu care legile dinamicii îmbracă o formă deosebit de simplă[1]. Un sistem de referințe în raport cu care legile lui Newton sînt valabile în forma lor cea mai simplă este denumit în limbaj tehnic un *„sistem inerțial"*. Astfel, liniile de vizare a stelelor fixe formează un sistem inerțial, ceea ce nu este cazul cu liniile de latitudine și longitudine de pe Pămînt. Pendulul Foucault se mișcă pe un plan din sistemul inerțial al stelelor fixe.

Cu mult timp în urmă, în secolul al XIX-lea, fizicianul austriac Mach (după care este denumit în aerodinamică „numărul lui Mach"), a emis ideea că, într-un fel oarecare, masa stelelor creează inerție, formînd astfel un sistem privilegiat. Einstein a fost de acord cu Mach că dacă întreaga materie ar fi distrusă cu excepția unei singure particule, aceasta nu ar avea masă, adică nu ar avea inerție.

Teoria lui Einstein conține implicit ideea că spațiul din apropierea unui corp care gravitează în jurul altuia este întrucîtva un spațiu neeuclidian și că teorema lui Pitagora nu este riguros exactă. Se știa demult că această teoremă nu este o necesitate logică, ci un fapt experimental, cel puțin pînă la un grad înalt de precizie. Planetele se mișcă în spațiul neeuclidian pe echivalentul liniilor drepte, linii pe care le interpretăm ca fiind curbe, oarecum în același fel cum pe Pămînt drumul cel mai scurt între două puncte este un cerc mare și nu o linie dreaptă. Whittakker folosește drept comparație un anumit joc cu bile care se joacă în nordul Angliei. În acest joc, bila care trebuie lovită se află pe o mică moviliță.

[1] Orice sistem de referință care s-ar mișca cu o viteză uniformă în raport cu stelele și nu s-ar roti s-ar comporta la fel. Aceasta rezultă, bineînțeles, din relativitatea restrînsă.

O bilă care se apropie de moviliță puțin cam oblic se va întoarce într-o parte, ca și cum ar fi respinsă de bila ce urma să fie lovită. Mișcarea ei ar putea fi descrisă și presupunînd că gazonul ar fi plat și că ar acționa o forță de repulsie corespunzătoare. Seamănă cu modul în care a procedat Newton, abstracție făcînd, firește, de faptul că la dînsul era vorba de o forță de atracție.

Felul în care prezintă Einstein gravitația cu ajutorul geometriei este atrăgător și nu ar fi exclus ca majoritatea legilor fundamentale ale fizicii să poată fi exprimate într-o formă independentă de sistemul de referință al observatorului, dar pînă acum încercările de a combina gravitația cu electrodinamica maxwelliană și de a le exprima sub o asemenea formă unică nu au fost încununate de un succes deplin, iar pentru teoria cuantică succesul a fost și mai redus.

Atracția pe care o exercită relativitatea generalizată rezidă, în parte, în ideea că legile fundamentale ale universului ar trebui să fie de asemenea natură încît să poată fi formulate într-o formă independentă de sistemul de referință folosit, că n-ar trebui să existe situații privilegiate, alese în mod arbitrar. **Există însă o situație privilegiată prin însăși natura ei, și anume cea oferită de întregul univers material ca atare.** *Această alternativă cere ca universul material să posede un anumit grad de simetrie. Dacă, de pildă, galaxia noastră, care, aproape cert, are forma unui disc, ar fi singura din univers și dacă un sistem de referință stabilit în raport cu ea ar avea o valabilitate specială, ne-am aștepta să existe, într-un fel sau altul, o diferență între mișcarea pe suprafața discului și mișcarea într-o direcție perpendiculară pe disc. Un asemenea fenomen nu a fost niciodată detectat, excepînd mișcarea Soarelui, care se rotește ca o planetă în jurul grupului central de stele. Dar în realitate galaxia noastră este înconjurată de mii de milioane de alte galaxii similare, astfel așezate încît nu există vreo direcție favorizată. Acest fapt a fost în ultimii ani considerat a fi un principiu fundamental — denumit* **principiu cosmologic** *— și care afirmă că universul, considerat la scara cea mai mare, este identic în toate direcțiile și că, în linii mari, arată la fel din orice galaxie ar fi privit. Principiul ca atare este contesta-*

bil, dar chiar dacă, studiind cu ajutorul radiotelescoapelor cele mai îndepărtate regiuni astronomice, s-ar ajunge la concluzia că el nu este general valabil, valabilitatea lui, chiar într-o formă modificată, ar oferi un sistem de referințe privilegiat. Am avea în acest caz de-a face cu un sistem inerțial.

După părerea mea, teoria relativității generalizate ar trebui considerată drept o teorie care explică anumite fapte experimentale — ceea ce reușește să facă destul de bine —, și nu drept ceva metafizic, căruia trebuie să i se conformeze toate celelalte teorii. După cum am văzut, teoria relativității restrînse este valabilă, dar numai în anumite limite. Ea se aplică unei categorii limitate de observatori, și anume celor ce nu sînt supuși gravitației sau, cu alte cuvinte, accelerațiilor. Cînd au loc accelerații, ne așteptăm ca teoria să necesite o modificare. Ea are meritul că modificarea este posibilă fără a impune teoriei să se abată de la ideea ei inițială; așa este cazul cu relativitatea generalizată.

Chiar dacă teoria relativității generalizate ar fi atît de cuprinzător valabilă cum pretind susținătorii ei cei mai înflăcărați, relativitatea spinului nu înseamnă că Galilei ar fi greșit cînd a susținut cu insistență că Pămîntul se mișcă. Fără a ține seama de spin nu se poate obține un sistem inerțial.

Am parcurs un drum lung de la presupunerea că oamenii de la antipozi ar cădea de pe Pămînt, iar dacă deosebiri de păreri — sau cel puțin de nuanțe — mai sînt încă posibile în materie de spațiu, timp și gravitație, fenomenul existenței unor asemenea deosebiri este curent în fizică. **Puncte de vedere foarte diferite pot duce la concluzii identice sau aproape identice atunci cînd le transpunem pe planul observațiilor posibile. Cele mai apropiate de realitate sînt observațiile. Cu cît, pornind de la ele, ajungem la abstracții de un nivel tot mai înalt, cu atît mai pasionante și cu atît mai promițătoare de progrese sînt, fără îndoială, concluziile pe care le tragem; dar cu atît mai puțin putem fi siguri că vreun alt punct de vedere, foarte diferit de al nostru, nu ar putea fi la fel de valabil.**

H. A. Lorentz (1853-1928)

Una din trăsăturile cele mai dătătoare de speranțe ale epocii noastre o constituie strînsele legături existente între oamenii de știință din diferite țări. Știința a fost întotdeauna internațională. Încă din secolul al XVII-lea, tînăra Societate Regală era, atît individual cît și colectiv, în contact cu colegii ei de pe continent, dar legăturile internaționale sînt astăzi mult mai strînse și mai frecvente decît cu cincizeci sau cu o sută de ani în urmă. Cauzele sînt numeroase; în orice caz, dintre cei care prin activitatea lor au contribuit la crearea acestei situații, L o r e n t z a fost cel mai activ. El îmbina un mare renume științific cu talentul pentru limbi străine, astfel încît se putea exprima cu aceeași ușurință în engleză, franceză și germană ca în limba sa maternă — olandeza. Poseda o mare pricepere în materie de organizare și, mai presus de orice, a fost o personalitate care nu numai că impunea tuturor respect, dar trezea și afecțiunea majorității celor cu care venea în contact. Ani de-a rîndul a fost președinte al „Conferințelor Solvay", ținute periodic la Bruxelles cu scopul de a discuta probleme de fizică sau chimie de mare actualitate. Aceste conferințe au fost întemeiate și finanțate de E. Solvay, conducătorul cunoscutei firme de produse chimice, și au constituit modelul pentru foarte numeroasele conferințe care joacă astăzi un rol atît de important în viața cercetătorilor din domeniul fizicii. Lorentz avea un mare dar de a aplana dificultățile ce se puteau ivi la conferințele internaționale.

Opera lui Lorentz își are originea în lucrările lui Maxwell. A rezolvat unele probleme importante privind reflexia luminii și propagarea ei în medii aflate în mișcare, pe care Maxwell le lăsase nesoluționate. În mare avans față de știința vremii sale, Lorentz a introdus ideea unor unități de sarcină individuale și egale — în fond, ideea electronului. Maxwell, și înaintea sa Faraday, își concentrase atenția asupra mediului dintre corpurile electrizate și magnetizate, acordînd mai puțină importanță ideii de sarcină — enunțată pentru prima

oară de Franklin —, deoarece o considerau probabil de importanță secundară. Prin teoria electronului, Lorentz a reașezat ideea de sarcină pe locul ei fundamental, loc pe care-l ocupă și în prezent.

El a acceptat imediat ipoteza lui Fitzgerald, și anume că materia se contractă în direcția mișcării sale prin eter, astfel încît o sferă aflată în mișcare se comprimă, întocmai ca Pămîntul care este mai turtit la poli. După înapoierea dintr-o scurtă vizită făcută lui J.J. Thomson, el și doamna Lorentz i-au trimis în dar o brînză de Olanda în forma ei obișnuită și purtînd inscripția „un model al electronului".

Deși forma inițială a contracției enunțate de Fitzgerald și Lorentz a fost abandonată odată cu abandonarea concepției privitoare la eter ca mediu material, ea a constituit punctul de plecare pentru „transformarea Lorentz", care constituie baza matematică a relativității restrînse, fiind totodată fundamentală pentru toate lucrările ulterioare.

Cînd F. Zeeman, discipol al lui Lorentz, a descoperit efectul cîmpului magnetic asupra luminii emise de o flacără de sodiu (capitolul 3), el s-a adresat lui Lorentz pentru explicarea fenomenului. Explicația i-a fost dată cîteva zile mai tîrziu, pe baza noii teorii a electronului, și a reprezentat prima apreciere a raportului dintre sarcina și masa electronului, pe atunci încă ipotetic. „Efectul Zeeman" a constituit ulterior una din importantele unelte folosite pentru studierea structurii atomice în deceniul 1920—1930. La sfîrșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea au mai existat în Olanda și alți fizicieni de seamă, în special Van der Waals. Deși este o țară mică, în materie de fizică Olanda se număra pe-atunci printre marile puteri.

Albert Einstein (1879-1955)

S-au scris atît de multe despre Einstein, încît ezit să mai adaug ceva. Firea sa prietenoasă și plină de amabilitate, care în anii petrecuți la Princeton i-a fer-

mecat pe toți cei care au avut de-a face cu el, este prea bine cunoscută pentru a mai vorbi de ea. La fel de bine sînt cunoscute și eforturile depuse de el pentru pace, lucru care nu l-a împiedicat să-i scrie lui Roosevelt pentru a-i atrage atenția asupra importanței fisiunii uraniului. De asemenea, a luptat pentru libertatea gîndirii și a cuvîntului. Cu toate acestea, într-o carte ca cea de față, care se ocupă în primul rînd de *metodologia descoperirilor științifice*, cîteva cuvinte despre felul în care aborda el problemele științifice ar putea fi de folos.

Opera lui Einstein este cel mai bun exemplu de folosire a matematicii ca model. În secolul al XIX-lea fizicienii au elaborat *modele mecanice* ale naturii, în special ale atomilor și ale eterului. Modelele acestea se bizuiau, bineînțeles, pe mecanica newtoniană și erau uneori foarte complexe, dar alteori nu se deosebeau prea mult de un jeleu care se clatină la prima atingere. Toate aceste modele au fost înlăturate de teoria electromagnetică enunțată de Maxwell, care a arătat că eterul nu poate fi pur mecanic. Experiența Michelson-Morley, interpretată cu ajutorul relativității restrînse, a pus capăt tuturor încercărilor de a reinventa un eter electric. Pînă și cuvîntul „eter" a fost abandonat de fizicieni, devenind aproape indecent, deși de cîțiva ani există unele semne că atît cuvîntul, cît și noțiunea reîncep să fie la modă.

Locul modelului mecanic l-a luat cel matematic. Abia în epoca noastră el a ajuns să fie utilizat pe scară foarte largă, deși, sub o formă simplă, a fost folosit de Galilei și se poate chiar spune cu oarecare îndreptățire că modelul matematic a stat la baza cosmogoniei grecești. A construi un model matematic înseamnă a alege un domeniu atrăgător și elegant al matematicii care prezintă o oarecare asemănare cu faptele fizice aflate în studiu și a încerca într-o formă sau alta să vezi dacă construcțiile matematice pot fi puse de acord — integral sau cel puțin în mare măsură — cu acele fapte. Este ca și cum cineva ar desena niște hărți ideale, căutînd apoi o țară pe care aceste hărți ar putea-o reprezenta. Pentru teoria relativității generalizate, Einstein a folosit un aparat mate-

matic denumit calcul tensorial. Acesta este în esență un sistem geometric, deși — ca aproape pretutindeni în geometria modernă — este exprimat prin simboluri algebrice. **Ideea de bază a lui Einstein a fost aceea că gravitația este o însușire a spațiului din jurul corpurilor masive, dar pentru prelucrarea acestei idei se poate întotdeauna recurge la folosirea calculului tensorial, acest lucru fiind uneori chiar obligatoriu.** Am descris pînă acum rezultatele obținute de el în linii foarte, foarte mari, în măsura în care acest lucru este posibil fără matematică.

Simplitatea joacă un rol atît de mare în frumusețea matematicii, încît orice matematician teoretician va alege întotdeauna cea mai simplă dintre posibilitățile ce-i stau la dispoziție, cu condiția, firește, să nu se afle în contradicție flagrantă cu faptele. Deși nu pare să existe vreun motiv special de a crede că universul este simplu, există totuși motive serioase să presupunem că el este într-adevăr așa. *Dacă însă aspectul particular pe care îl studiezi este efectiv foarte complex, e preferabil să renunți la rezolvarea problemei în chestiune, afară doar dacă există o aproximație suficient de apropiată de adevăr ca să merite a fi cunoscută.* **De asemenea, nu pare să existe vreo rațiune valabilă pentru a presupune că natura ar fi matematică în esența ei, dar și în acest caz nu s-ar putea înregistra progrese în domeniul teoriei, dacă natura nu ar avea acest caracter.** *Realitatea este că metodele matematice s-au dovedit utile, chiar dacă teoria lui Einstein nu pare să fie ultimul cuvînt în teoria gravitației. Fascinantele probleme pe care ea le ridică în privința adîncurilor cosmosului au dus, neîndoios, la progrese remarcabile.*

Metoda matematică de abordare a problemelor este foarte diferită de aceea a lui Rutherford. Amîndouă au însă o trăsătură comună, și anume că prezintă o imagine ideală a unor fenomene ascunse; într-un caz, acestea sînt asemuite relațiilor dintre anumite mărimi matematice, iar în celălalt — relațiilor dintre corpuri materiale care se mișcă într-un anumit mod.

Opera lui Einstein nu s-a limitat exclusiv la problema relativității. În afară de teoria sa despre mișcarea termică a particulelor în lichide, el a mai extins teoria cuantică, enunțată de Planck, la radiația în spațiul liber. Einstein a presupus că această radiație se propagă în pachete, denumite azi fotoni. Cu ajutorul acestor fotoni a reușit să explice paradoxul că radiații Roentgen slabe pot smulge din materie electroni (ce-i drept, mai puțini), cu aceeași forță ca radiații Roentgen mult mai intense. Dacă, de pildă, o bucată de materie este apropiată de sursa de radiații Roentgen, ceea ce se modifică este cantitatea, nu calitatea.

6
Masă, energie, materie

Conceptele de masă și energie sînt în sine atît de importante și sînt legate între ele într-un mod atît de interesant, încît merită să le consacrăm un capitol aparte.

Galilei și mai tîrziu Newton au făcut din conceptul de masă sau inerție fundamentul mecanicii lor. Alții s-au întrebat ce anume determină obiectele să se miște și au dat acestui fenomen diferite explicații. Galilei a inversat problema, spunînd că întrebarea căreia trebuie să i se găsească un răspuns este: ce determină un corp în mișcare să se oprească, dacă și cînd se oprește. El a constatat că aceeași proprietate a inerției care îngreunează mișcarea din loc a unui corp masiv îngreunează și oprirea lui, odată ce se află în mișcare. La viteză egală, cu cît un glonte este mai masiv, cu atît stricăciunile procovate de el, dacă nimerește ținta, vor fi mai mari. Galilei a conceput forța ca ceva ce modifică starea unui corp, nu numai atunci cînd este în repaus, dar și atunci cînd se află în mișcare. Sub acțiunea unei forțe, mișcarea unui corp este accelerată cu o mărime egală cu forța împărțită la o cifră care măsoară cantitatea de substanță a corpului respectiv, denumită

masă. Din punct de vedere strict logic, această lege nu este decît o definiție (parțială) a forței și masei, dar ea implică faptul că „masa" este o constantă a unei anumite cantități de materie și nu se schimbă decît atunci cînd sînt adăugate sau înlăturate bucăți de materie, iar în ce privește „forțele", ele se află într-o anumită legătură cu condițiile din afara corpului asupra căruia acționează. Forțele pot fi: greutatea, adică atracția Pămîntului; întinderea unei corzi vizibile; forța magnetică (deși invizibilă, ea provine de la un magnet vizibil). Newton a adăugat ideea că forțele au întotdeauna un dublu sens, astfel încît acțiunea este egală cu reacțiunea dintre două corpuri. Această idee a permis să se compare masele punînd două corpuri să se ciocnească între ele și observînd proporția dintre schimbările de viteză pe care acțiunea și reacțiunea le produc în cele două corpuri (firește, este un lucru complet arbitrar de a decide care anume direcție a forței să fie denumită acțiune și care reacțiune).

Am explicat într-un capitol precedent că greutatea unui corp este — în orice punct al suprafeței terestre — proporțională cu masa lui, așa încît masele pot fi comparate prin cîntărire. Atunci cînd cumpărăm un kilogram de unt, de fapt cumpărăm masă. Greutatea nu face decît să adauge neplăcerea de a trebui să ducem untul acasă.

Timp de mai bine de două sute cincizeci de ani acest concept de masă a fost suficient pentru nevoile mecanicii. Părea cel mai solid fundamentat dintre toate conceptele din fizică. Principala proprietate a materiei — în realitate aproape definitorie pentru ea — era aceea de a poseda masă.

Prima mențiune că lucrurile nu sînt chiar atît de simple a fost cuprinsă într-un articol scris de J.J. Thomson în 1881, articol despre care am pomenit mai înainte. Articolul se ocupa de teoria electromagnetică, recent enunțată de Maxwell, teorie din care reieșea că atunci cînd o sferă din metal este electrizată, ea se comportă ca și cum ar poseda o mică masă suplimentară. Masa suplimentară era prea mică pentru a spera că ea va putea fi detectată pe cale experimentală și

chiar dacă ar fi fost detectată, s-ar fi putut spune că nu este vorba de o masă reală, ci de ceva ce seamănă cu ea.

Cu toate acestea, oamenii de știință au început să vorbească despre o *masă electromagnetică*, iar cînd a fost descoperit electronul s-a emis părerea că masa lui ar putea fi într-adevăr de natură electromagnetică. Era o idee logică, deoarece masa, calculată pentru o sarcină electrică dată, sporește pe măsură ce se micșorează raza sferei, iar raza electronului ar putea fi într-adevăr extrem de mică. Apoi s-a descoperit că masele electronilor — sub formă de radiații beta — depind de viteza lor, sporind odată cu creșterea vitezei. *Acest lucru este în totală contradicție cu concepția newtoniană, dar este un fenomen care se află în concordanță cu concepția de masă electromagnetică.* Variația obținută prin calcul corespundea, în linii mari, cu cea rezultată din experiență. Variația masei devine apreciabilă abia atunci cînd viteza se apropie de cea a luminii, dar în acest din urmă caz ea devine foarte mare.

Aici trebuie să întrerupem expunerea noastră, pentru a reveni la ea abia după ce vom fi discutat despre conceptul de energie. Acest concept era dominant în fizica de la jumătatea secolului al XIX-lea și este legat de numele lui Joule, Kelvin, Helmholtz și Clausius. Urme ale acestui concept pot fi găsite și în experiențele — în parte efectiv realizate, în parte doar gîndite — prin care Galilei a ajuns la ideea de masă. Cînd o greutate care atîrnă de o sfoară se mișcă așa cum se mișcă pendulul, ea își sporește viteza pornind de la starea de repaus în punctul cel mai înalt și ajunge să aibă cea mai mare viteză atunci cînd se află în punctul cel mai jos al mișcării sale de pendulare. Apoi, pe măsură ce urcă de cealaltă parte, viteza scade, ajungînd pentru o clipă la zero la aceeași înălțime cu aceea de la care a pornit. Galilei a arătat că dacă sfoara, în drumul ei, se lovește de un cui, mișcarea va duce greutatea pînă la aceeași înălțime, dar descriind un arc cu o rază mai mică. Ajunsă în punctul cel mai de jos, mișcarea are forța necesară pentru a ridica greutatea pînă la înălțimea inițială, indiferent de traiectoria urmată, dar

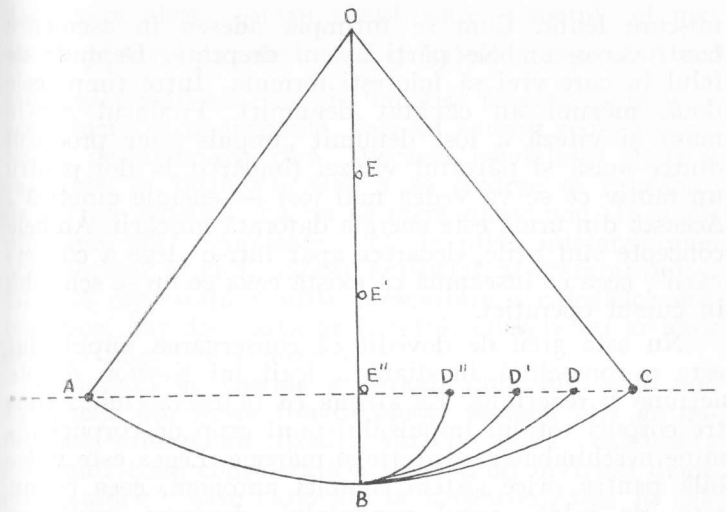


Fig. 10 Experiența lui Galilei.

O greutate este atîrnată de cuiul *O* printr-un fir. Apoi este trasă într-o parte, pînă la punctul *A*, de unde i se dă drumul. Ea descrie curba *AB*, pe care Galilei a conceput-o poate ca pe un șir de planuri înclinate foarte scurte, avînd fiecare o înclinație diferită. După aceea, greutatea își inversează mișcarea, pînă ce ajunge la punctul *C*, situat la același nivel orizontal ca și *A*. Batem un cui în punctul *E* și repetăm experiența. După ce firul trece de verticală, el se va împiedica de cui, iar greutatea va descrie un arc de cerc *BD* cu centrul în *E*, dar se va ridica tot la același nivel *AC*. Lucrurile se vor petrece în mod corespunzător dacă cuiul se va afla în punctul *E'* sau *E''*.

în acest timp mișcarea se epuizează. Așadar, în timpul căderii greutății mișcarea crește, iar în timpul urcării descrește.

Care este însă, în asemenea împrejurări, măsura corectă a impulsului sau a „cantității de mișcare", cum i s-a spus uneori? Problema a fost mult discutată în secolul al XVII-lea, unii fiind de părere că este egală cu produsul dintre masă și viteză, iar alții că trebuie luat pătratul vitezei, adică, exprimat în simboluri matematice, mv^2, unde m este masa particulei aflate într-o

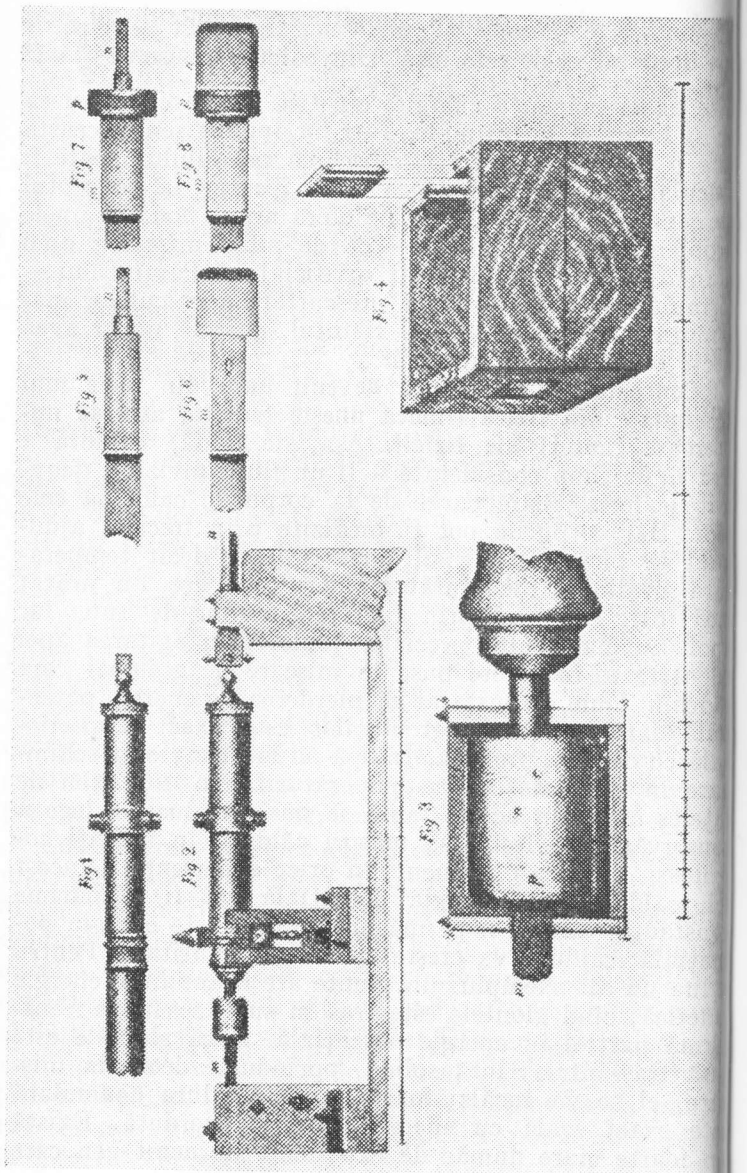
mișcare lentă. Cum se întîmplă adesea în asemenea controverse, ambele părți aveau dreptate. Depinde de felul în care vrei să folosești formula. Între timp, cele două mărimi au căpătat denumiri. Produsul dintre masă și viteză a fost denumit „impuls", iar produsul dintre masă și pătratul vitezei (împărțit la doi pentru un motiv ce se va vedea mai jos) — „energie cinetică". Aceasta din urmă este energia datorată mișcării. Ambele concepte sînt utile, deoarece apar într-o „lege a conservării", ceea ce înseamnă că există ceva ce nu se schimbă în cursul operației.

Nu este greu de dovedit că conservarea impulsului este o consecință imediată a legii lui Newton despre acțiune și reacțiune. Ea afirmă că în interacțiunea dintre corpuri totalul impulsului unui grup de corpuri rămîne neschimbat ca direcție și mărime. Legea este valabilă pentru orice sistem complet autonom, ceea ce nu este, de pildă, cazul pendulului, deoarece greutatea este atrasă de Pămînt. Ar trebui să măsurăm într-un fel oarecare impulsul pe care îl capătă Pămîntul prin forța de tracțiune a greutății sale și să ținem seamă de el, ceea ce reprezintă evident un procedeu foarte puțin practic. Pe de altă parte, dacă se trage cu un tun, conservarea impulsului ne va arăta care va fi reculul în funcție de viteza inițială a obuzului și de raportul dintre masa obuzului și aceea a tunului. În acest caz, greutatea este o forță relativ mică în comparație cu puternicul impuls al exploziei.

Conservarea energiei cinetice este o chestiune ceva mai complicată. Energia cinetică nu se conservă ca atare, ci numai dacă este adăugată unei alte mărimi, denumită „energie potențială". În cazul pendulului, energia potențială este egală cu produsul dintre înălțimea la care se află situată greutatea deasupra unui anumit nivel și greutate. Nivelul ales nu importă, deoarece nu este vorba decît de *diferențe*. În timpul oscilației pendulului energia se schimbă treptat de la punctul cel mai înalt, unde este exclusiv potențială, pînă la punctul cel mai de jos, unde este exclusiv cinetică,

dacă vom alege, pentru simplificare, punctul cel mai jos drept nivel de referință. Din calcule reiese că $\frac{1}{2} mv^2$ este exact mărimea energiei cinetice necesare pentru ca acest lucru să se întîmple. Într-un anumit sens, aceasta este o definiție arbitrară. Mișcarea pendulului poate fi calculată în întregime fără a se recurge la conceptul de energie cinetică. Ea nu ne oferă nimic nou. În unele probleme mai complicate — ca de pildă mișcarea unei planete sau a unui satelit artificial al Pămîntului — formula reprezintă o utilă prescurtare a calculelor matematice, dar dacă asta ar fi totul, energia nu ar avea decît o importanță minoră.

Conceptul de energie a devenit unul din cele mai însemnate din fizică fiindcă unește laolaltă atît de numeroase ramuri ale fizicii. Așa, de pildă, căldura a fost mult timp considerată a fi un fluid invizibil denumit „caloric", care curge de la corpurile calde la cele reci. Dar corpurile pot fi încălzite prin frecare, ajungînd la temperaturi mult mai ridicate decît temperatura mediului înconjurător, lucru pe care l-a arătat mai întîi Rumford prin filetarea țevilor de tun, iar apoi, cu mai multă precizie, Joule, prin agitarea apei de către niște palete puse în mișcare de greutăți care cădeau. Joule a constatat că pierderea de energie potențială datorată căderii greutăților este exact proporțională cu căldura produsă. În apă nu are loc nici o schimbare în afară de cea a temperaturii. Nu este greu de înțeles cum din aceste fapte se poate deduce o lege a conservării. E destul să măsori căldura în unități corecte și, din acest moment, în orice experiență de acest fel, căldura plus energia potențială vor fi o mărime constantă, deoarece, pe măsură ce descrește energia potențială, căldura va crește cu aceeași cantitate. Pentru a lua un alt exemplu: un glonte are o anumită energie cinetică; cînd glontele este tras în sus, aceasta se transformă parțial în energie potențială. Dacă glontele este însă tras într-o țintă solidă, oprindu-se deci din mișcare, el se va încălzi foarte mult. Căldura acumulată este exact egală cu energia cinetică pierdută. Există un foarte mare număr de experiențe de acest gen care



confirmă întru totul că una din formele pe care le poate lua energia este căldura. Ne putem imagina în mod plastic acest fenomen, gîndindu-ne că într-un gaz fierbinte moleculele se află într-o violentă mișcare haotică, așa încît fiecare din ele posedă o energie cinetică proprie, și că într-un corp solid puternic încălzit atomii, respectiv moleculele, oscilează cu mare viteză în jurul unor puncte fixe. În acest din urmă caz, energia este în parte cinetică, în parte elastică. Forțele care mențin coeziunea atomului pot înmagazina energie întocmai ca arcul unui ceasornic.

Căldura nu este decît una dintre formele energiei. Ne-ar lua prea mult timp dacă am trata aici numeroasele manifestări ale acestei entități, cum ar fi energia electrică și magnetică, radiația emanată de Soare și de alte corpuri încinse, energia nucleară sau formele chimice, așa cum se manifestă ele în arderea cărbunelui sau a țițeiului. A face un asemenea lucru ar echivala aproape cu a scrie un manual de fizică. Ideea esențială este că energia reprezintă ceva ce poate îmbrăca numeroase forme, ceva ce poate fi transmis de către un corp altuia, și că, atunci cînd energia este transformată dintr-o formă de manifestare într-alta, transformarea are

←

Fig. 11 Desenele originale ale lui Rumford referitoare la experiențele sale de filetare a țevilor de tun.

Desenul (1) înfățișează o formă de țeavă de tun prevăzută la gură cu un bloc solid. Între bloc și țeavă era strunjit un gît, montat pe un strung primitiv (2) care putea fi învîrtit cu ajutorul cailor. Un burghiu bont *(m)*, era apăsat cu putere în interiorul unei găuri practicate în bloc, care era căptușit cu flanelă și așezat într-o cutie de lemn *(3)* și *(4)*.

Creșterea temperaturii datorate frecării a fost măsurată cu ajutorul unui termometru, așezat în gaura *de* (3). Într-una din experiențe, temperatura a crescut cu 70°F, greutatea metalului fiind de 113 livre. Nu s-au produs decît 54 g de șpan. Scopul experienței a fost de a răspunde la obiecția că apreciabila căldură produsă cu ocazia tăierii metalului ar proveni de la șpan, presupus a avea o capacitate mai redusă de înmagazinare a căldurii decît o bucată mare de metal. Rumford a fost de părere că marea cantitate de căldură produsă nu putea fi explicată prin neînsemnata cantitate de șpan și pulbere. El a demonstrat totodată că atît în cazul șpanului cît și în acela al blocului de metal căldura specifică este aceeași.

loc potrivit unui raport de schimb bine precizat. Așa, de pildă, energia potențială corespunzătoare căderii unui kilogram pe distanța de 100 de metri va încălzi 236 de grame de apă cu 1°C sau, dacă este în totalitatea ei transformată în energie electrică, va rezulta o putere electrică de un kilowatt pe timp de o secundă. În practică, dacă energia este folosită într-o centrală hidroelectrică, o mică parte a ei se pierde, transformîndu-se în căldură în apa de evacuare și în dinam; restul, să zicem 90 sau 95%, apare sub formă de putere electrică.

Acum a sosit momentul de a aplica cele de mai sus particulelor care se ciocnesc și de a vedea cum, folosind conceptul de relativitate, sîntem conduși **să considerăm masa drept un gen de energie.** Vom alege particule care se pot ciocni fără să se producă o transformare apreciabilă de energie cinetică în căldură sau radiație. Acest postulat reprezintă o imagine ideală care nu poate fi cu exactitate reprodusă experimental cu ajutorul unor obiecte cum ar fi bilele de biliard. În cazul proiectilelor atomice aproximația este însă mult mai bună. În orice caz, argumentația de mai jos nu este infirmată dacă are loc o mică pierdere de energie cinetică datorită transformării ei în căldură sau radiație.

Într-o asemenea ciocnire se produce, firește, un transfer de energie și de impuls de la o particulă la alta, dar totalul rămîne neschimbat. Teoria relativității restrînse reclamă legi care să fie în egală măsură valabile pentru toți observatorii ce se mișcă fără accelerație în raport cu ceilalți observatori. Ce se întîmplă în cazul nostru? Dacă luăm formulele uzuale mv pentru impuls și $\frac{1}{2}mv^2$ pentru energia cinetică și procedăm la translația vitezelor de la un observator la altul (potrivit legilor rezultate din teoria relativității și care diferă de legile lui Newton) *menținînd masele neschimbate*, vom constata că rezultatele nu corespund. Dar dacă conservarea înseamnă ceva din punct de vedere fizic, și nu numai un accident matematic, ea nu poate avea nimic de-a face cu observatorul. S-ar părea că ne găsim în fața unei dileme care ne-ar obliga fie să abandonăm legile bine stabilite ale conservării energiei,

fie să admitem că regulile de translație a vitezelor de la un observator la altul — așa cum rezultă din teoria relativității — sînt greșite, ceea ce ar însemna să abandonăm teoria relativității. S-ar putea să existe totuși o ieșire din dilemă. Am putea, eventual, modifica formulele matematice mv și $\frac{1}{2}mv^2$ în așa fel încît noile formule, rămînînd valabile pentru un observator, să rămînă valabile pentru toți observatorii dacă translația are loc potrivit normelor relativității. Modificările nu trebuie să fie prea drastice. Vrem să spunem că aceste formule sînt „într-adevăr" corecte pentru impuls și energie, dar știm că formulele vechi sînt valabile atîta timp cît vitezele sînt mult mai mici decît viteza luminii. Rezultă de aici că în aceste condiții noile formule trebuie să fie foarte asemănătoare. Restricțiile impuse de această cerință sînt serioase, dar lucrul este posibil. Asemenea formule matematice există. În ce privește momentul mecanic, tot ce se cere este înlocuirea vechilor mase fixe printr-o masă nouă care variază odată cu viteza. De fapt, formula matematică exactă fusese sugerată de Lorentz în baza contracției corpurilor. Ea diferă puțin de masa electromagnetică variabilă (p. 112), dar experiențe foarte minuțioase efectuate cu radiații beta au arătat că formula este corectă.

Cînd se ajunge aproape de viteza luminii, masa crește la infinit, în conformitate cu ideea fundamentală a relativității, potrivit căreia nimic nu se poate deplasa mai repede ca lumina. Un obiect ar căpăta imediat o inerție sporită la infinit și, deci, ar opune rezistență oricărei forțe care ar încerca să-l facă să depășească această viteză.

Schimbarea necesară în formula energiei este ceva mai radicală. Pentru energie trebuie să introducem în formulă o nouă masă variabilă — pe care o vom denumi M — înmulțită cu pătratul vitezei, dar nu a particulei, ci a *luminii*, ajungîndu-se la cunoscuta formulă a lui Einstein $E = Mc^2$, unde c este viteza luminii. La prima vedere, noua formulă nu pare să aibă vreo asemănare cu cea veche, deoarece viteza particulei pare să fi dispărut. În realitate nu a dispărut, deoarece este inclusă în M și

nu este greu de demonstrat[1] că, de fapt, formula este în concordanță aproximativă cu cea inițială, cu excepția faptului important că în energie este inclus mc^2, m fiind, după cum vă amintiți desigur, masa originală a particulei cînd se află într-o mișcare lentă, masă care în teoria relativității poartă denumirea de „masă de repaus". Mărimea mc^2, care are o valoare foarte mare din cauza vitezei cu care se propagă lumina, implică, la o examinare atentă, ideea că **prin însăși existența sa masa posedă mari cantități de energie.**

Einstein a prezentat un raționament destul de asemănător pentru a demonstra că potrivit aceleiași legi absorbirea de către un corp a unei cantități de energie sub forma radiației sporește masa corpului respectiv. Aceste prezziceri au rămas însă în domeniul teoriei pînă în momentul cînd Aston a efectuat măsurători foarte precise ale maselor unor subspecii individuale de atomi și cînd a devenit posibil să se compare masa, de pildă a unui atom de radiu, cu masa particulelor produse prin disocierea acelui atom. Energia eliberată de explozia unui atom de radiu este suficient de mare pentru a permite detectarea pierderii de masă de repaus în totalul fragmentelor materiale în comparație cu masa atomului inițial.

Odată cu energia nucleară, ecuația lui Einstein și-a găsit domeniul de aplicare practică, ea fiind hotărîtoare pentru a stabili în care reacții nucleare ne putem aștepta să se elibereze energie și în care nu. Este într-adevăr un paradox remarcabil faptul că masa — virtual sinonimă cu inerția — se dovedește a fi identică cu energia, dar aceasta este concluzia la care ne obligă legea. Masa unui sistem este măsura întregii sale energii. Dacă energia crește datorită unei acțiuni din exterior, masa trebuie

[1] Formula lui Lorentz este: $M = \frac{m}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, deci

$$Mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = mc^2 + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{\frac{3}{8}mv^4}{c^2} + \dots$$

Cînd v este mult mai mic decît c, termenii al treilea și următorii pot fi neglijați.

să crească *pari passu*. O asemenea creștere va avea de obicei loc fie prin adăugarea de masă vizibilă, fie prin absorbția de radiații, deoarece radiațiile au masă. În fond, în secolul al XIX-lea s-a dovedit în mod experimental că lumina ce cade pe un corp care o absoarbe sau o reflectă exercită asupra acestui corp o presiune, asemănătoare cu cea exercitată de un șuvoi de gloanțe. În cazul unei lumini de o intensitate ce poate fi realizată pe Pămînt, presiunea este mică dar măsurabilă, și ea concordă cu previziunile teoriei lui Maxwell. Pe de altă parte, proprietatea fundamentală a masei este aceea de a exercita o presiune atunci cînd mișcarea este oprită sau cînd direcția ei este schimbată.

Am încercat să explic cum a fost descoperită legea lui Einstein, cu toate că o asemenea explicație necesită un raționament matematic, dar am făcut-o pentru a ilustra modul în care matematica poate să sugereze — dar nu să și dovedească — o lege a fizicii. Avem aici două grupuri de legi — legile conservării și legile deduse din teoria relativității — fiecare cu logica sa și confirmate de experiență. După cum am arătat, ele sînt contradictorii. Problema era de a găsi o modificare a unuia din ele, modificare care să nu fie în contradicție cu experiențele pe care se bizuie, dar să înlăture opoziția dintre cele două grupuri de legi. În procesul căutării a fost descoperit un principiu nou, foarte important. S-a întîmplat de multe ori ca formule matematice acceptate fiindcă ușurau calculul să sugereze concluzii importante, verificate ulterior pe cale experimentală. Este oare natura efectiv matematică sau nu putem noi descoperi decît acele părți ale ei care sînt matematice?

Uneori legea lui Einstein este interpretată în sensul că ar afirma că materia nu este decît energie. Cred că o asemenea interpretare merge prea departe. Materia obișnuită[1] este legată de anumite unități elementare — electroni, protoni, neutroni și poate alte cîteva — care au cel puțin un înalt grad de permanență. Aceste unități sînt centrele maselor și cea mai mare parte a energiei oricărui obiect obișnuit este suma maselor de repaus ale acestor unități.

[1] Aici și mai departe autorul folosește termenul de „materie" cu sensul de „substanță" *(N.T.)*.

De fapt, energia este de obicei substanțial mai mică decît această sumă, deoarece o mare cantitate de energie a fost probabil degajată atunci cînd s-au format atomii mai grei care, după cum credem în prezent, s-au format din electroni și protoni inițiali. Dar particulele sînt ceva mai mult decît numai centre ale masei. În primul rînd electronii și protonii au sarcină electrică. Apoi electronii, protonii și neutronii au momente magnetice și momente de spin intrinsece. Ei sînt entități cu proprietăți bine definite.

Un motiv pentru a face să pară plauzibilă ideea că materia nu este decît energie îl constituie faptul că, după cum au arătat Blackett și Chadwick, din radiație pot fi creați electroni. Dar niciodată nu este creat un singur electron, ci întotdeauna *o pereche* — un electron cu sarcină electrică negativă normală și unul cu sarcină pozitivă (pozitron — *N.T.*). Acesta din urmă dispare după un scurt timp printr-o unire sinucigașă cu un electron negativ. Crearea acestei perechi este un fenomen cert, prezis de Dirac pe cale teoretică. Fenomenul se produce și cu protoni, după cum s-a putut recent constata în laboratorul din Berkeley, California. În acest caz, dat fiind că protonul are o sarcină pozitivă, noul „antiproton" are una negativă. Antiprotonul dispare apoi prin anihilare cu un proton normal și cu degajare de energie.

Aceste procese seamănă foarte mult cu crearea de materie din energie, dar unele experiențe recente par să indice cu totul altceva. Cînd radiațiile cosmice primare lovesc atmosfera, se creează o varietate de particule instabile care au putut fi descoperite prin urmele pe care le lasă pe plăcile fotografice și în camerele Wilson (cu ceață). Acțiunea radiațiilor cosmice primare poate fi acum imitată cu ajutorul marilor aceleratoare de protoni — cum sînt, de pildă, betatronul de la Berkeley, cosmotronul de la Brookhaven și acceleratorul internațional CERN de lîngă Geneva — , dar natura rămîne totuși neîntrecută în producerea celor mai mari energii. Există o mare varietate de asemenea particule, inclusiv cele cunoscute de mai mult timp, cum ar fi electronii negativi și pozitivi. În prezent se cunosc douăzeci și șase, fiind foarte posibil să se mai

descopere cel puțin încă cîteva[1]. Dintre ele, unele sînt perechi — particulă și antiparticulă. Particulele se împart în trei grupuri. Primul grup constă în particule al căror număr *nu se conservă*, cum ar fi fotonii care alcătuiesc lumina obișnuită, precum și anumite particule, denumite mezoni, care sînt legate de forțele nucleare. Un al doilea grup îl constituie niște particule înrudite cu electronii și denumite mai pe scurt leptoni. În sfîrșit, din al treilea grup fac parte barionii, particule înrudite cu protonii. Ar trebui menționat aici că neutronii, deși par stabili cînd fac parte din nucleu, atunci cînd se află în stare liberă se transformă după circa douăzeci de minute în protoni, emițînd electroni și o particulă denumită neutrino.

Regula admisă afirmă că ultimele două grupuri sînt fundamental diferite și că numărul de particule din fiecare grup se menține neschimbat, dar cu un corectiv important. Pentru această afirmație există destul de multe temeiuri, dar nu se poate încă spune că este o certitudine. Corectivul regulei constă în aceea că, atunci cînd este produsă o „antiparticulă", ea contează drept o mărime cu semnul minus. Așadar, o pereche de electroni — particulă și antiparticulă — nu poate fi produsă decît dintr-un foton. Fotonul contează drept zero și pentru scopuri de conservare este inclus în primul grup. Electronul negativ contează drept 1, iar cel pozitiv drept —1, așa încît suma este zero. În mod similar, la dezintegrarea neutronului electronul produs este „anihilat" de neutrino, care în acest caz trebuie să fie un „antineutrino". Neutronul și protonul sînt barioni și la ei nu se produce nici o schimbare. Este clar că pînă la un anumit punct putem silui faptele așa încît să corespundă unei legi de acest fel, stabilind în mod corespunzător ce este o „antiparticulă"

[1] În legătură cu numărul particulelor elementare se înregistrează neîncetat noi descoperiri. Astăzi sînt cunoscute cu certitudine 36 de particule elementare stabile (26 de particule și 11 antiparticule). În afară de acestea, mai există două tipuri de specii de particule elementare denumite *rezonanțe*, descoperite în ultimii ani și care sînt clasificate astfel: 57 rezonanțe mezonice și 42 barionice. La acestea nu au fost adăugate antirezonanțele unora dintre ele *(N.T.)*.

și ce este o particulă, dar trebuie, bineînțeles, să fim consecvenți. Acum, cînd se cunosc un număr destul de mare de transformări, devine important ca încadrarea în particule și antiparticule să se poată face într-un mod consecvent.

Admițînd că cercetări ulterioare vor stabili că regula de mai sus corespunde realității, acest lucru va însemna că materia este compusă din două categorii de entități — particule și antiparticule —, fiecare dintre ele putînd exista cu mase diferite. Așa, de pildă, neutrino și antineutrino are o masă de repaus mult mai mică decît electronul, probabil chiar zero, deși atît neutrino cît și electronul sînt leptoni. Potrivit legii lui Einstein, o particulă cu masă de repaus zero are și o energie egală cu zero, exceptînd cazul că s-ar deplasa cu viteza luminii, în care eventualitate poate avea orice energie și masa corespunzătoare. Această deducție nu este o simplă subtilitate matematică — cum este rezultatul înmulțirii lui zero cu infinit —, ci o ipoteză necesară în cadrul teoriei luminii (capitolul 9), deși în cazul luminii particula cu masa de repaus zero este fotonul și nu neutrino. Leptonii și barionii sînt entități distincte, care pot avea — și de obicei au — masă de repaus, dar nu în mod obligatoriu, iar atunci cînd au masă de repaus, ea nu este întotdeauna aceeași. Așa, de pildă, masa unui neutron întrece cu puțin pe cea a protonului, deși amîndoi sînt barioni, iar leptonii denumiți mezoni μ sînt cunoscuți ca avînd o masă de 207 ori mai mare decît cea a electronului.

De fapt, masa devine astfel numai una dintre diferitele proprietăți pe care le pot avea entitățile elementare ale materiei. S-ar putea să nici nu constituie proprietatea lor fundamentală, deoarece masele acestor noi particule prezintă niște corelații foarte ciudate care nu sînt în concordanță cu nici o lege simplă, sarcinile lor fiind fie -1, fie $+1$, fie 0, așa încît sarcinile unui electron și momentele lor de spin sînt multipli întregi ai unei entități. S-ar părea că masele nu sînt decît consecințele a ceva mai fundamental.

Cu toate că masa este energie și că, de obicei, masa de repaus deține cea mai mare parte a energiei unui sistem material, materia este totuși mult mai mult decît atît.

Relația dintre masa de repaus și sarcină continuă să constituie un mister. În temeiul teoriei relativității, fizicienii teoreticieni ezită să atribuie electronului sau protonului o rază precisă, dar dacă aceste particule sînt considerate drept puncte, masa lor de repaus devine infinită. Au fost concepute mijloace pentru a găsi o rezolvare pe cale matematică și a obține răspunsuri raționale la chestiunile de mai sus, dar situația în acest domeniu este încă nesatisfăcătoare.

7
Cum au fost făcute unele descoperiri

Descoperirea electronului și a nucleului atomic sînt exemple de descoperiri care au rezolvat probleme aflate de mult timp la ordinea zilei. Prima dintre aceste descoperiri a rezolvat dubla problemă a naturii radiațiilor catodice și a caracterului unitar al sarcinilor electrice, iar cea de-a doua — problema naturii principalei părți componente, încărcată pozitiv, a atomului. Dar acest gen de descoperiri nu reprezintă singurul mod în care progresează fizica. De aceea ar fi poate interesant să prezentăm două descoperiri importante care au constituit în mai mică măsură elucidarea unor enigme și mai curînd descoperiri ale unor efecte nebănuite. Este vorba de descoperirea de către Roentgen a radiațiilor X și dovada adusă de Hess cu privire la existența radiațiilor cosmice. La aceste două descoperiri o vom mai adăuga și pe aceea a argonului de către Rayleigh, ea putînd servi drept exemplu de descoperire datorată unor măsurători precise.

În ziua de 8 noiembrie 1895, profesorul Wilhelm Conrad Roentgen de la Universitatea din Würzburg lucra singur în camera sa din laboratorul pe care-l

conducea și studia descărcarea produsă de o bobină de inducție într-un tub vidat, de tipul cunoscut sub denumirea de tub Crookes. Acoperise tubul cu un carton negru subțire, iar alături se afla un ecran de hîrtie acoperit cu cristale de platinocianură de bariu. Cînd a început operația de descărcare, el a observat cu uimire că ecranul devenise fluorescent. Surpriza lui nu se datora faptului că ecranul putea deveni fluorescent, deoarece tocmai în acest scop îl pregătise, ci faptului că fenomenul se produsese într-un moment cînd nici una dintre formele cunoscute de radiație nu îl putea atinge. În următoarele opt săptămîni el a lucrat foarte intens și de unul singur, iar la 28 decembrie a comunicat rezultatul cercetărilor sale secretarului Societății fizico-medicale din Würzburg. Articolul a fost publicat imediat și extrase din el au fost trimise unor fizicieni și medici de vază. În decurs de cîteva zile, experiența lui Roentgen a fost repetată în numeroase laboratoare din lume și după cîteva săptămîni s-au făcut primele încercări de a folosi noua metodă de investigație în medicină.

Noile „raze" i-au făcut pe oameni să-și dea frîu liber imaginației și despre ele s-a vorbit în „Punch", „La Nature" și „Life", ca și în alte reviste, mai serioase. Niciodată pînă atunci — și nici de atunci încoace — o descoperire strict științifică nu a devenit mai repede celebră, exceptînd poate fisiunea nucleară în ultimele zile ale anului 1938, dar oamenii neinițiați nu și-au dat atît de repede seama de posibilitățile pe care le oferea fisiunea.

Primul articol publicat de Roentgen a reprezentat un model de claritate a unei experiențe. Cu mijloace foarte simple, el a stabilit că „razele" pătrund în materie într-un grad care nu depinde decît de densitatea acesteia, că sînt emise din regiunea unde radiațiile catodice din tubul Crookes lovesc peretele sau (ulterior) o țintă de platină, fixată în acest scop în tub, că — în afară de influența pe care o au asupra platinocianurii de bariu și a altor substanțe fluorescente — ele lasă urme pe o placă fotografică. Nu sînt refractate de o prismă sau de lentile și pot trece prin pulbere fără a fi împrăștiate așa cum ar fi împrăștiată lumina de către o pulbere de sticlă. În schimb a fost constatată o oarecare reflexie atunci cînd întîlnesc

Fig. 12 „Noua descoperire în domeniul fotografiei".
Datorită descoperirii făcute de profesorul Roentgen, împăratul german va putea obține fotografia exactă a unei «coloane vertebrale» de o nebănuită dimensiune și tărie". (Reproducere după revista „Punch" din 25 ianuarie 1896).

suprafața unui corp cu densitate mai mare. El a stabilit totodată — lucru foarte important — că, spre deosebire de radiațiile catodice, „razele X", cum le denumise, nu sînt deviate nici de un cîmp magnetic puternic. Ele se propagă în linie dreaptă și de aceea se poate obține ca un obstacol să arunce o umbră cu contururi foarte precise. Roentgen a emis părerea că radiațiile X ar putea fi vibrații longitudinale ale eterului. Vibrațiile tuturor genurilor cunoscute de lumină sînt, firește, transversale, întocmai

ca vibrațiile unei coarde, spre deosebire de mișcările longitudinale ale undelor sonore în aer.

Într-o a doua comunicare, prezentată în luna martie, el a descris experiențele care demonstrau că „razele X" conferă gazelor însușirea de a fi bune conducătoare de electricitate. Acest efect important a fost descoperit concomitent și în mod independent la Cambridge și Paris.

În momentul cînd a făcut descoperirea, Roentgen avea cincizeci de ani și, cu toate că publicase pînă atunci patruzeci și nouă de articole, nici unul nu se referea la descărcarea în gaze. Pe Roentgen pare să-l fi interesat mai ales fluorescența și, după cum se relatează, el ar fi spus că motivul pentru care ecranul de platinocianură de bariu se afla în laboratorul său era faptul că spera să poată compara fluorescența acestuia cu aceea a unui compus organic, folosit de Lenard pentru detectarea radiațiilor catodice trimise în atmosferă printr-o ferestruică de metal subțire. Dar tubul cu care a fost făcută descoperirea nu avea o asemenea ferestruică. Pare probabil că Roentgen — care abia începuse să lucreze în acest domeniu — a repetat experiențele altor cercetători, folosind însă un tub Crookes, mai rezistent și mai ușor de mînuit decît tubul necesar pentru experiența lui Lenard. Radiațiile lui Lenard făceau aerul vizibil pe o distanță de cîțiva centimetri, dar se presupunea că pot produce efecte electrice la o distanță mai mare. În realitate, efectele acestea se datorau radiațiilor X care sînt produse concomitent în cantități reduse. Cîteva luni mai tîrziu, Roentgen a declarat unui vizitator că el căutase o „radiație invizibilă", probabil în legătură cu radiațiile lui Lenard[1]. În acest sens, se poate spune că a găsit ceea ce căutase, deși prezența ecranului lîngă tubul înnegrit nu a fost decît o întîmplare fericită.

Lenard își acoperise tuburile cu hîrtie neagră, probabil pentru a vedea mai bine lumina, destul de slabă, emanată de radiațiile sale. Se spune[2] că Roentgen ar fi procedat la fel, ceea ce este, evident, rațional dacă încerci să observi luminozități slabe. Așadar, Roentgen și-a

[1] G l a s e r, *Wilhelm Conrad Roentgen*, 1933, p. 33.
[2] *Ibid.*

înnegrit tubul Crookes cu care lucra. Altfel nu ar fi făcut descoprirea, în primul rînd fiindcă ar fi fost greu de observat fluorescența, probabil foarte slabă, iar în al doilea rînd, fiindcă fluorescența ar fi fost atribuită luminii ultraviolete, care, după cum se știe, provine de la tuburile de descărcare, dar nu poate trece printr-un carton negru.

Există două motive pentru care Roentgen a meritat să facă descoperirea. Primul — fiindcă nu a ezitat să se lanseze într-un domeniu nou și promițător, altul decît cel în care lucra; iar al doilea — pentru rapiditatea cu care și-a dat seama că ecranul fluorescent însemna ceva ieșit din comun. Că acest din urmă fapt constituie, într-adevăr, o realizare remarcabilă ne-o dovedesc cercetătorii care nu au fost în stare să facă această descoperire. Lenard și Hertz — care au observat efectul electric al razelor lui Lenard — ar fi putut s-o facă, deși indiciul nu era atît de clar ca voalarea plăcilor fotografice, fenomen observat și de alți cîțiva cercetători care lucrau cu tuburi de descărcare. Un fizician din Oxford[1] și-a dat seama de legătura existentă, dar s-a mulțumit să îndepărteze placa, punînd-o într-un loc unde era ferită! Crookes, excelent experimentator, a atribuit voalarea mai întîi unui defect al plăcilor, iar cînd fabricanții l-au convins că nu poate fi vorba de nici un defect al plăcilor, el a încercat să îmbunătățească condițiile atmosferice ale locului unde păstra plăcile înainte de a le folosi. Pînă la urmă, Crookes ar fi ajuns să descopere radiațiile X, dar Roentgen i-a luat-o înainte.

Fără a subaprecia meritele lui Roentgen, echitatea ne obligă totuși să spunem că a avut noroc, nu numai fiindcă a făcut descoperirea ca atare, dar și fiindcă aceasta a fost mult mai importantă — atît ca aplicații practice cît și ca semnificație științifică — decît ar fi fost în mod firesc de așteptat. **A fost o descoperire cu adevărat epocală — în înțelesul literal al cuvîntului — , deoarece ea desparte fizica veche de cea nouă, fizica continuității de fizica unităților discontinue—electroni, cuante etc.** Desigur, această împărțire, deși comodă, este departe de a fi atît de

[1] W h i t t a k e r, *History of the Theories of Aether and Matter*, vol. II, 1951, p. 358.

netă. Descoperirea radiațiilor X a contribuit, fără îndoială, la descoperirea electronilor și, punînd la îndemînă un mijloc atît de ușor pentru a face gazele bune conducătoare de electricitate, radiațiile X au constituit o unealtă foarte eficace pentru realizarea altor descoperiri importante, la care Roentgen nu a mai luat însă parte. El s-a înapoiat la studiul propriu-zis al fluorescenței corpurilor solide. S-ar putea să nu fie numai o coincidență faptul că această descoperire revoluționară s-a datorat în mai mare măsură hazardului decît se întîmplă de obicei. Cînd un domeniu este într-adevăr cu desăvîrșire nou, cînd, ca să zicem așa, este legat de ceea ce este deja cunoscut doar printr-un fir extrem de subțire, el nu le va oferi cercetătorilor decît prea puține indicații și deci nu este probabil ca ei să-l poată descoperi exclusiv pe cale rațională, fără ajutorul norocului.

Pentru mulți, știința este o chestiune de măsurători executate cu precizie și meticulozitate. Asemenea măsurători joacă un mare rol în dezvoltarea unei descoperiri, dar rareori constituie cauza ei. Există însă și un exemplu care dovedește contrariul și el merită să fie prezentat.

În 1892, lordul R a y l e i g h a efectuat o experiență de determinare a densității azotului. Prin densitate el înțelegea masa pe unitate de volum, iar cum gazele sînt foarte comprimabile, pentru ca măsurătorile să fie semnificative trebuie să se stabilească anumite condiții standard de presiune și temperatură. Dar odată aceste condiții realizate, compararea densității gazelor este echivalentă cu o comparare a greutății moleculelor lor. Pe Rayleigh, în 1892, nu-l interesa decît o măsurare precisă pentru a o compara cu recentele sale măsurători ale densității hidrogenului și oxigenului.

Azotul este, bineînțeles, principalul component al atmosferei. El este destul de inert și Rayleigh l-a produs, așa cum se obișnuia, eliminînd pe cale chimică celelalte componente cunoscute ale atmosferei, adică oxigenul, bioxidul de carbon și vaporii de apă. Rezultatul corespundea cu densitatea constatată de cercetătorii anteriori și majoritatea oamenilor de știință s-ar fi mulțumit cu acest rezultat. Rayleigh a socotit însă că merită să în-

cerce o altă metodă de a produce azotul, în care acesta provenea în parte din amoniac și în parte din atmosferă. Densitatea obținută pe această cale a fost ceva mai mică decît înainte; diferența s-a menținut. După ce a încercat diverse modificări ale celor două metode fără ca rezultatele să se schimbe, Rayleigh a început să se gîndească că azotul obținut din aer ar putea să fie diferit de cel obținut din amoniac. De aceea a experimentat o metodă în care *întregul* azot provenea din amoniac. De data aceasta azotul a avut o densitate considerabil mai mică decît înainte. Diferența față de azotul provenit din aer era de patru ori mai mare decît înainte, iar efectul, care înainte era abia perceptibil, a devenit de necontestat. Dar a constata efectul era una, iar a-l explica era altceva. S-ar fi putut ca unul din eșantioane sau chiar ambele să conțină impurități, dar ar fi fost un lucru cu totul ieșit din comun ca procentul ipoteticelor impurități să fie mereu același. În cele din urmă, Rayleigh s-a hotărît să purifice azotul obținut din aer, combinîndu-l cu oxigenul cu ajutorul scînteilor electrice. Metoda fusese folosită de Cavendish cu un secol în urmă, dar, după cum a constatat Rayleigh cercetînd lucrările lui Cavendish, acesta nu reușise, în ciuda unui tratament foarte îndelungat, să înlăture un mic reziduu reprezentînd mai puțin de unu la sută din valoarea inițială a gazului. Metoda este folosită în prezent pe scară foarte mare pentru producerea de nitrați din aer. Dar aparatura lui Rayleigh, deși mult perfecționată față de cea folosită de Cavendish, lucra extrem de încet. La sfîrșit, și el a obținut un mic reziduu. Cu multă trudă a reușit să producă o cantitate de reziduu suficientă pentru a-i determina proprietățile. S-a constatat că are o densitate mult mai mare decît azotul — raportul fiind de 40 : 28 — și că din punct de vedere chimic este complet inert, din care cauză i s-a dat denumirea de „argon", adică „leneșul".

Sir William Ramsey, care în ultima parte a întregii operații dăduse o mînă de ajutor și arătase cum să fie absorbit azotul cu ajutorul magneziului, a obținut suficient azot pentru a demonstra că greutatea lui concordă cu aceea a azotului obținut din amoniac. El a continuat cercetările și a reușit să identifice încă

alte trei gaze — neonul, criptonul și xenonul —, toate inerte și amestecate în mici cantități cu argonul. A mai constatat de asemenea că gazele emanate de anumite minerale și presupuse a fi azot au un spectru optic identic cu anumite linii necunoscute, observate anterior de Lockyer în spectrul Soarelui și pe care acesta din urmă le atribuise unui element ipotetic — „heliul".

Toate aceste substanțe sînt elemente și formează un grup aparte, cel al gazelor inerte. În afară de utilizarea lor în lămpi luminescente cu gaze și în tuburi de descărcare pentru lumină colorată, aceste gaze au o mare importanță pentru știința pură. Am întîlnit deja heliul ca un produs al radiului, iar neonul a jucat un mare rol în istoria descoperirii izotopilor. Trebuie însă să subliniem că precizia cu care Rayleigh și-a efectuat măsurătorile a fost într-adevăr necesară, deoarece trebuia să stabilească realitatea diferenței dintre două mărimi aproape egale, și anume diferența dintre densitatea azotului pur și aceea a azotului care conținea circa 1% argon (și în proporții mult mai mici celelalte gaze inerte). Adesea valoarea exactă a unei mărimi fizice nu are în sine o foarte mare importanță, dar o deosebită precizie poate fi necesară atunci cînd mărimea semnificativă este o *diferență*.

O altă descoperire de care ne vom ocupa este un exemplu al importantelor consecințe ce pot rezulta din studiul amănunțit al unui efect mic, neexplicat. Dat fiind că primele cercetări au fost efectuate cu o aparatură foarte simplă, putem urmări experiențele mult mai bine decît în majoritatea celorlalte cazuri. Aproape nu există om care să nu fi văzut un electroscop cu foițe de aur (fig. 13). Cînd este electrizat prin atingere — cu o vergea de ebonită frecată cu o bucată de piele, de pildă —, foița se îndepărtează de suportul ei deoarece sarcinile de același fel (negative) de pe foiță și suport se resping reciproc. După trecerea unui timp, foița se va apropia treptat de suport pînă va ajunge în poziția inițială. Sarcina s-a scurs. Scurgerea s-ar putea datora unei proaste izolări a suportului, din care cauză sarcina s-ar scurge în pămînt, dar încă din secolul al XVIII-lea oamenii au fost de

părere că efectul nu poate fi explicat în întregime printr-o izolare defectuoasă și că, chiar atunci cînd izolarea este perfectă, sarcina se scurge totuși încet prin aer.

Stimulat de descoperirea radiațiilor Roentgen, H. B e c q u e r e l a constatat că sărurile de uraniu emit radiații care au proprietatea de a face ca aerul din jurul lor să devină bun conducător de electricitate și de a înnegri plăcile fotografice. Oamenii de știință au acordat multă atenție acestei conductivități naturale a aerului. Potrivit unei teorii care s-a dovedit că poate fi aplicată cu succes în studierea conductibilității produse de radiațiile Roentgen, se presupunea că aceste radiații au puterea de a despica în două cîteva molecule ale aerului, cele două părți fiind denumite „ioni", unul încărcat pozitiv, iar celălalt — negativ. Dacă, de pildă, electroscopul are o sarcină negativă, el atrage ionii pozitivi, care îi vor neutraliza sarcina. Ionii negativi vor fi respinși.

Cu ajutorul unui dispozitiv simplu (fig. 13), scurgerea prin suport poate fi împiedicată; în acest caz viteza cu care foița revine la poziția ei inițială poate constitui o măsură a numărului de ioni prezenți. În aer liber experiențele nu au dat rezultate concludente. Cînd dispozitivul a fost așezat într-un vas închis, s-a constatat că viteza de revenire la poziția inițială este mai mare într-un vas de dimensiuni mari decît într-unul mic, aceasta deoarece, în general, într-un vas mai mare se vor produce mai mulți ioni și s-a presupus că în acest caz condițiile sînt de așa natură încît toți sau, practic, toți ionii avînd semnul corespunzător vor ajunge la foița de aur.

Mărimea efectului variază destul de mult, în funcție de materialul din care este confecționat aparatul, dar chiar fără a lua măsuri speciale de precauție se obțin circa douăzeci de perechi de ioni pe centimetru cub și secundă. Cifra poate părea destul de ridicată, dar un centimetru cub de aer la presiune atmosferică și temperatură obișnuită conține $2{,}7 \times 10^{19}$ molecule. Această cifră reprezintă aproximativ întreaga populație umană a galaxiei noastre, admițînd că cele circa zece miliarde de stele care o alcătuiesc ar poseda fiecare cîte o planetă cu o populație egală cu cea a Pămîntului! Faptul că putem detecta și măsura un proces care din acest număr

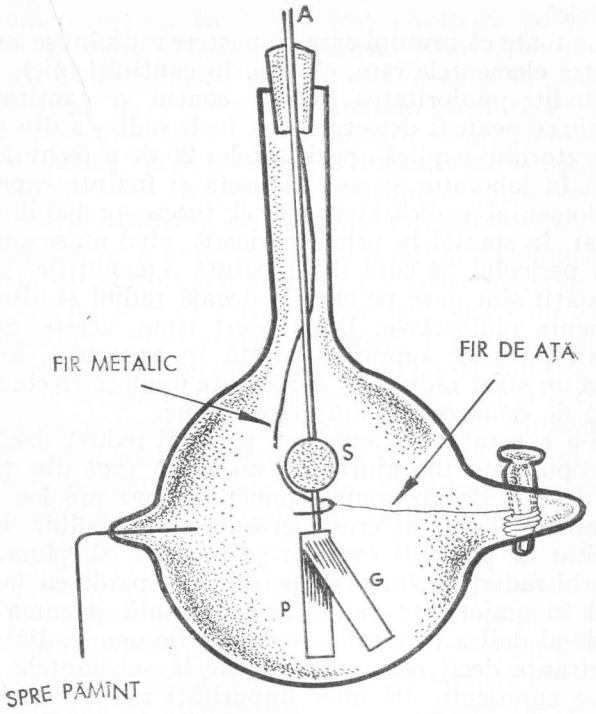


Fig. 13 Electroscop de tip Wilson.

Vergeaua A are la capătul ei o bucată de sulf — S — fixată prin topire. De cealaltă parte a lui S este fixată o placă — P — și o foiță de aur — G — prinsă de placă în așa fel încît foița să se poată mișca liber. O sîrmă realizează legătura electrică între A și P, iar electroscopul este încărcat prin conectarea lui A la polul unei baterii. Sarcinile de același semn fac, așa cum se arată în imagine, ca G să se îndepărteze de P. Apoi contactul dintre A și P este întrerupt, trăgîndu-se sîrma cu ajutorul unui fir de ață. O scurgere de la G prin aer în pămînt va avea drept rezultat ca G să revină încet la poziția inițială. Orice scurgere prin S de la A la P are un efect contrar. Suprafața interioară a vasului devine slab conducătoare de electricitate.

desprinde numai 20 de perechi de ioni pe secundă demonstrează extraordinara sensibilitate a detectării pe cale electrică.

Cu toate că uraniul care dă naștere radiului se numără printre elementele rare, el este, în cantități mici, foarte răspîndit; majoritatea rocilor conțin o cantitate de uraniu ce poate fi detectată, așa încît radiația din pereții laboratorului explică apariția celor 20 de perechi de ioni. Dacă în laborator se mai făcuseră și înainte experiențe în domeniul radioactivității, el fusese probabil contaminat, în special în prima perioadă, cînd nu se cunoștea încă pericolul pe care îl reprezintă emanațiile. Aceste emanații sînt gaze pe care le degajă radiul și alte două elemente radioactive. După scurt timp, aceste gaze se depun pe orice suprafață aflată în apropiere, formînd pe ea un strat radioactiv care poate produce efecte nocive timp de douăzeci de ani și mai bine.

S-a constatat că ionizarea poate fi redusă dacă electroscopul este înconjurat de un ecran gros din plumb, dar dincolo de un anumit punct nu mai are loc nici o schimbare, oricît ar crește grosimea plumbului. Primul rezultat ar putea fi explicat prin aceea că plumbul ar absorbi radiațiile emise de pereți și de pardosea (acestea fiind în majoritate radiația penetrantă „gamma"), iar cel de-al doilea rezultat s-ar datora fie unor radiații mai penetrante decît cele provenite de la substanțele radioactive cunoscute, fie unor impurități radioactive conținute în plumb. Electroscoapele confecționate din metale diferite dau rezultate diferite, probabil din cauza cantităților inegale de impurități radioactive conținute de metale. Dar oare totul se datorează numai impurităților? Nu ar putea fi vorba de o radioactivitate naturală a tuturor — sau a majorității — felurilor de atomi, o radioactivitate evident foarte mică, dar de aceeași natură ca cea a elementelor foarte grele — uraniul, toriul — și a produșilor acestora? Speranța de a descoperi o asemenea radioactivitate a determinat un număr de experimentatori să-și continue lucrările în acest domeniu chiar după ce C.S. Wright — care ulterior a plecat cu Scott în Antarctica — a demonstrat cu ajutorul unor experiențe efectuate pe gheața lacului Ontario că proporția de ionizare poate fi redusă pînă la 4,4 ioni pe centimetru cub și secundă.

Numeroase experiențe au fost efectuate pe turnuri, pentru a evita efectele radiației datorite radioactivității solului. Aici dificultatea consta în aceea că s-ar fi putut ca, eventual, cărămizile turnului să dobîndească un „strat activ", provenit din emanații absorbite din sol atunci cînd presiunea atmosferică scădea. S-a observat că odată cu creșterea înălțimii se producea o scădere certă a ionizării, dar totuși un rest oarecare rămînea.

Scurt timp înainte de primul război mondial, unui grup de cercetători din Austria i-a venit ideea de a încerca efectul într-un balon. Primele zboruri nu au fost concludente: ele au arătat o scădere a ionizării la înălțimea de circa 300 m, dar scăderea era mai mică decît ar fi fost de așteptat. Camerele de ionizare folosite trebuie să fi fost puternic contaminate, deoarece minimul observat nu era nici pe departe atît de redus ca acela constatat de Wright. Din această cauză interpretarea rezultatelor a fost destul de dificilă. În cele din urmă, cînd Hess a izbutit să se ridice cu balonul pînă la înălțimea de aproximativ 1 500 m, măsurătorile făcute au confirmat presupunerile cercetătorilor că la mari înălțimi ionizarea nu scade, ci crește și încă într-o măsură însemnată. Nu exista decît o singură explicație, și Hess a găsit-o. Trebuia să vină *de sus* un fel oarecare de radiație, iar excesul de ionizare observat la mari înălțimi se datora faptului că, pe măsură ce coboară, această radiație este absorbită de aer. Această experiență a marcat descoperirea radiațiilor cosmice.

De atunci au fost efectuate numeroase cercetări cu privire la aceste radiații. Ele sînt de o mare complexitate, datorită în special numeroaselor schimbări pe care le suferă în trecerea lor prin aer.

În ce privește importanța descoperirii lui Hess, mă voi mărgini să spun următoarele. Se știe că radiațiile primare constau, în primul rînd, din nuclee de atomi ale elementelor avînd numărul atomic pînă la acela al fieru-

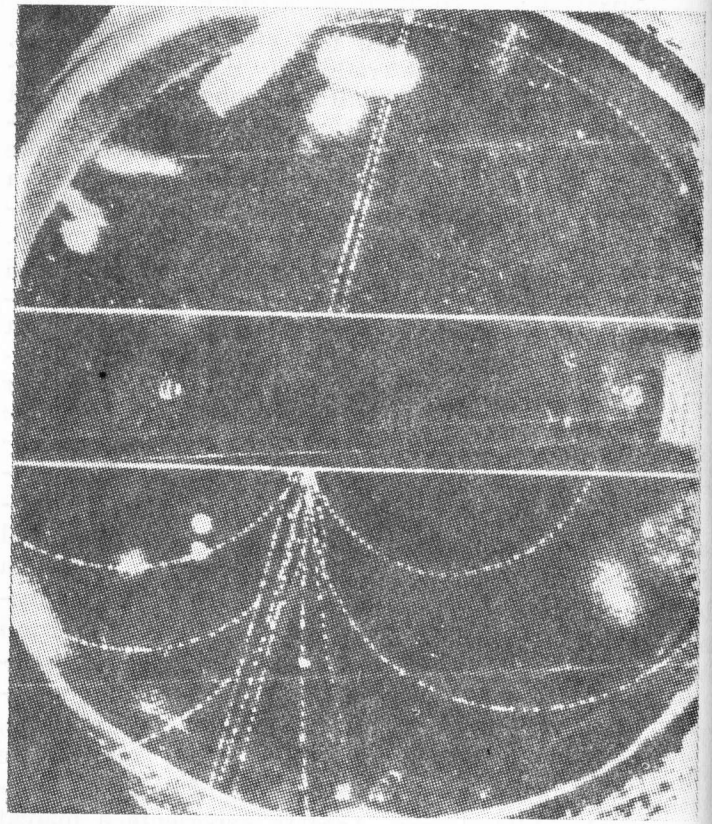


Fig. 14 Radiații cosmice într-o cameră Wilson.
Două particule din radiația cosmică intră prin partea de sus și pătrund într-o placă groasă de plumb, așezată orizontal, care împarte camera în două. Una din particule este un mezon μ și ea trece prin placă; cealaltă este un electron și produce cîteva perechi de electroni pozitivi și negativi, fie direct, fie trecînd printr-un stadiu intermediar de fotoni. Camera se află într-un cîmp magnetic care face ca electronii pozitivi și cei negativi să devieze în direcții opuse. Radiația primară se propagă cu o viteză prea mare pentru a prezenta o deviere vizibilă.

lui inclusiv, dar alcătuite în cea mai mare parte din protoni, și în al doilea rînd din nuclee de heliu (adică particule alfa). Ele posedă (cel puțin acele radiații care ajung pînă la limita superioară a atmosferei) energii variind între 100 de milioane și 10^{16} volți[1] și chiar mai mult. Acceleratorul de particule de la Geneva (aparținînd Centrului European de Cercetări Nucleare) produce protoni cu o energie de circa 25 de miliarde de volți[2]. Această energie ar corespunde unor radiații cosmice foarte moderate. Pînă în prezent nu se știe cu certitudine unde sau cum sînt produse radiațiile cosmice, dar este foarte probabil ca cel puțin unele dintre ele să fie generate de uriașele explozii cunoscute sub denumirea de supernove și care, în galaxia noastră, au loc o dată la două sau trei secole. Cîteva dintre radiațiile mai slabe provin uneori de la Soare în timpul furtunilor denumite erupții solare, dar această sursă nu este prea importantă.

Cînd aceste particule se ciocnesc cu nucleele atomilor care alcătuiesc aerul, nucleele sînt sfărîmate și tot astfel radiațiile înseși, cu excepția celor care sînt de la origine protoni și care nu pot fi schimbate. Ciocnirile au drept rezultat producerea unei foarte intense radiații energetice de tipul radiațiilor Roentgen extreme, radiație care la rîndul său produce perechi de electroni și pozitroni. La înălțimi moderate, ele constituie cea mai mare parte a radiației. Mai interesante din punct de vedere teoretic sînt diferitele feluri de mezoni și de „particule stranii". Acestea nu sînt nici atomi, nici protoni, nici neutroni sau electroni, dar sînt denumite particule elementare, deoarece nu sînt rezultatul unei uniri a altor particule. Masa lor variază între 200 de mase ale electronului și circa 1½ masă a protonului. Toate sînt mai mult sau mai puțin instabile, transformîndu-se spontan

[1] De obicei în fizica atomică energia se măsoară în electron-volți, adică energia pe care o particulă individuală încărcată ar căpăta-o dacă ar trece printr-o diferență de potențial de atîția și atîția volți.

[2] Acceleratorul de la Serpuhovo (U.R.S.S.) imprimă protonilor o energie de 70 de miliarde de electron-volți *(N.T.)*.

într-o particulă din grupul respectiv: electron sau pozitron, proton sau neutron. Fiecare transformare implică diminuarea masei de repaus, iar unele transformări implică, de asemenea, și scindarea în două sau mai multe particule de acest gen. Energia care prisosește se prezintă ca energie cinetică, energie electromagnetică obișnuită (radiații Roentgen) sau ca neutrini. Aceștia din urmă sînt particule cu sarcina electrică zero și cu masa de repaus zero și au fost imaginați de Pauli pentru a explica ciudățeniile în producerea radiațiilor beta; ei sînt aproape de nedetectat. Mult timp au fost priviți cu oarecare suspiciune, fiind considerați drept un subterfugiu pentru a salva legea conservării energiei, dar — la fel ca multe alte inovații — au devenit cu timpul tot mai respectabili, iar recent existența lor a fost pe deplin stabilită prin detectarea efectelor puternicului flux de neutrini (mai precis, de antineutrini) pe care-l produce un reactor nuclear.

Se crede că unii mezoni au o strînsă contingență cu forțele nucleare. „Particulele stranii" au dus la conceptul leptonilor și al barionilor, descriși la p. 123.

Toate acestea au ajuns să fie cunoscute deoarece unii oameni de știință bănuiau că scurgerea electricității din electroscoape nu era pe deplin explicată prin efectele pe care le cunoșteau. Ei sperau să descopere o radioactivitate universală, care de fapt nu există, deși trei sau patru elemente cu o greutate specifică medie — în special potasiul — emit efectiv o slabă radiație. Acest din urmă element, care intră în compoziția corpului nostru, este sursa unei apreciabile părți din radiația pe care o primim cu toții. În fond, aceste cîteva excepții nu sînt de mare importanță teoretică și nu suferă nici o comparație cu descoperirile făcute prin studierea radiațiilor cosmice.

Pentru a face mari descoperiri nu este necesar să știi ce anume vei descoperi. Cazurile de acest fel sînt destul de rare. Cel mai important este să ai flerul pentru a sesiza nepotrivirile care pot avea o mare însemnătate.

John William Strutt, al treilea baron Rayleigh (1842—1919)

Rayleigh a fost un reprezentant remarcabil al unui grup de oameni cărora știința din Anglia le datorează foarte mult — mă refer la amatorii serioși. Sînt oameni care și-au consacrat viața științei fără a primi vreo plată și fără a beneficia de stimulentul competiției ce rezultă din faptul de a fi membru al unei profesiuni recunoscute de societate. Rayleigh a fost, ce-i drept, timp de cinci ani, profesor la Cambridge, dar această perioadă nu a reprezentat decît un episod în viața lui, iar majoritatea lucrărilor sale experimentale le-a efectuat într-un laborator instalat la conacul său de la Terling, comitatul Essex. El nu a avut decît un singur asistent.

Deși amator, el nu era însă un om care să-și irosească timpul de pomană. În culegerea articolelor sale, *Collected Papers*, sînt incluse 446 de subiecte, iar lucrarea sa consacrată teoriei sunetului mai este consultată și azi. Uneori se spune că Rayleigh a fost ultimul om care „cunoștea fizica", ceea ce este poate îndoielnic, dar a fost, cert, ultimul care a adus contribuții substanțiale în toate domeniile fizicii cunoscute în vremea tinereții sale. Lucrările lui Rayleigh cu privire la argon au constituit probabil apogeul carierei sale științifice, dar ele nu se ridică decît cu puțin deasupra nivelului, extraordinar de ridicat, al întregii sale opere. Această operă include explicarea faptului că cerul este albastru, precum și elucidarea erorilor comise în primele determinări ale unităților electrice fundamentale, erori care mergeau pînă la 3%. Rayleigh, care fusese la Cambridge șef de promoție la matematică, a trebuit să învețe singur arta experimentării, dar el s-a distins în mod egal atît în domeniul teoriei cît și în acela al experiențelor.

S-a constatat că în general matematicienii — întocmai ca poeții — își realizează cele mai valoroase lucrări

atunci cînd sînt tineri și că un număr destul de mare de oameni care în tinerețe au înfăptuit lucruri cu adevărat mari nu au mai produs nimic important după ce au trecut de treizeci de ani. Rayleigh a constituit însă o excepție și a continuat să dea rezultate excelente pînă la șaptezeci de ani și chiar după aceea. La fel ca scriitorii și poeții, oamenii de știință pot fi împărțiți, în linii mari, în romantici și în cei ce urmează tradiția clasică. Rayleigh făcea, fără îndoială, parte din această din urmă categorie. Puține din articolele științifice mai sînt citite după trecerea a zece ani de la data cînd au fost scrise. În acest răstimp, în măsura în care este vorba de lucrări valoroase, esențialul a fost inclus în manuale, iar detaliile au fost perfecționate. Prin urmare nu mai are nici un rost să fie citite, lectura lor nemaiputînd interesa decît pe cei ce se ocupă cu istoria științei. Articolele lui Rayleigh, în special cele teoretice, continuă însă să fie citite și citate. Lucrul se datorează în parte faptului că sînt atît de bine și de clar scrise, încît este o adevărată plăcere să le citești, iar în parte faptului că Rayleigh era un om atît de serios și de conștiincios, încît, odată ce se ocupa de un anumit subiect, nu mai rămînea mult de spus despre el.

Rayleigh s-a căsătorit cu una dintre surorile lui Arthur Balfour[1]; o altă soră a acestuia, doamna Sidgwick, a colaborat cu dînsul la unul din articolele sale, și însuși Balfour a fost chemat cu o ocazie să dea o mînă de ajutor la niște măsurători. Pe vremea aceea, știința era în mai mică măsură decît astăzi o chestiune oficială și strict profesională.

Cu toate preocupările sale științifice, Rayleigh era un om sociabil și avea faima de a fi un bun povestitor. Nici una din anecdotele pe care le spunea nu avea vreo legătură cu fizica. Dar aceea pe care o vom reproduce mai jos are totuși o tentă științifică.

„Camerista doamnei X. a întîrziat să deschidă ușa unui vizitator. Ea s-a scuzat spunînd că nu a auzit sonerie, deoarece ascultase cu mult interes o discuție care avea loc la parter. Problema care se discuta era dacă ne tragem sau nu cu toții din Darwin".

Fiul său mai mare, moștenitorul titlului de baron Rayleigh, a fost și el fizician. Este cunoscut în special pentru lucrările sale cu privire la vîrsta Pămîntului sau, mai precis, a anumitor minerale și roci radioactive, a căror vîrstă a stabilit-o măsurînd heliul acumulat în minerale de către radiațiile alfa provenite de la elementele radioactive.

[1] A. Balfour, om de stat englez. În perioada 1902—1905 a fost prim-ministru al Angliei *(N.T.)*.

8

Tactica experimentării

Experiențele sînt de mai multe feluri, caracterul lor putînd să se schimbe în cursul cercetării. La început se fac de obicei experiențe de explorare în scopul de a descoperi cauzele unui fenomen oarecare, fără să se urmărească o precizie prea mare. Ele îl ajută pe experimentator să-și facă o idee generală despre fenomenul de care se ocupă.

Experiențele de explorare oferă experimentatorului posibilitatea de a afla ce factori au o mai mare importanță, de pildă cît de importantă este puritatea materialelor sau cît de pure trebuie ele să fie. Acest lucru nu este deloc ușor de stabilit, deoarece în unele cazuri contează chiar și cantități infime de impurități. Astfel, în cazul semiconductorilor folosiți la fabricarea tranzistorilor se calculează cu fracțiuni de o miliardime; chiar și în asemenea proporții, impuritățile au o foarte mare importanță. În multe cazuri, mai obișnuite, ne putem aștepta ca impurități de 1% să nu genereze decît o eroare de cîteva procente. Bineînțeles, dacă experiența se referă la un domeniu destul de bine explorat, acest lucru va fi cunoscut.

Pe măsură ce cercetarea progresează, se conturează o imagine tot mai clară a celor ce se petrec; ca urmare se vor obține probabil unele rezultate neașteptate, care nu se vor potrivi cu ideile de la care s-a pornit. Lucrul acesta se poate datora faptului că ideile prezumate au fost greșite. Mult mai probabil este însă ca, într-un fel sau altul, aparatura să fi funcționat altfel decît se presupusese. S-ar putea să existe fie o scurgere, fie un contact defectuos, fie o suprafață care ar putea fi contaminată. Sînt foarte, foarte rare cazurile în care să nu se fi întîmplat ceva asemănător — și poate tocmai atunci s-a făcut o descoperire.

Unele considerente de ordin practic sînt valabile pentru multe cercetări din domeniul fizicii. În primul rînd, după cum am arătat, **cercetarea experimentală este o luptă între priceperea experimentatorului și încăpățînarea materiei.** Practic vorbind, niciodată un aparat nu funcționează cînd este montat pentru prima dată. Acest lucru se datorează de obicei unor greșeli de ordin minor, cum ar fi, de pildă, unele legături defectuoase. Cînd aceste erori sînt înlăturate, se obține un oarecare efect, dar de obicei slab și imprecis. Abia atunci începe punerea la punct a aparaturii ca să funcționeze cum trebuie. Se reușește făcîndu-se unele mici modificări, care uneori constă numai în reglarea aparatului, dar alteori în schimbări structurale. Este impresionant în ce măsură răbdarea de care dai dovadă în muncă poate îmbunătăți comportarea aparatului, cîteodată fără să poți măcar spune cu certitudine ce anume a determinat îmbunătățirea. În cele din urmă, ori aparatul funcționează destul de bine pentru a se obține rezultate utile, ori se ajunge la concluzia că însăși concepția aparaturii este complet greșită și că totul trebuie luat de la început.

Din punctul de vedere al tacticii, există o deosebire considerabilă între experiențele de tip explorator, menite să ofere o idee generală despre felul cum se produce un anumit efect sau eventual în speranța de a descoperi un efect nou, și experiențele care urmăresc studierea temeinică și precisă a unor efecte deja bine cunoscute. În special în primul caz este extrem de important să se procedeze în așa fel încît rezultatele să se manifeste la

o scară cît mai largă. Așa, de pildă, cercetătorul nu trebuie să se mulțumească a măsura curenți cu ajutorul amperметrelor dacă poate organiza experiența în așa fel încît aceleași rezultate să apară sub forma unor curbe pe ecranul unui osciloscop catodic — oarecum ca pe un ecran de televizor. S-ar putea ca obiectul măsurării să fie în ambele cazuri același dar prezentarea rezultatelor pe un ecran bidimensional sau (atunci cînd experiența se pretează la așa ceva) pe o placă fotografică sau chiar o simplă examinare a culorii unei descărcări electrice prezintă avantajul că astfel se pot obține o mulțime de informații, aparent superflue. Ele nu sînt însă superflue decît în caz că aparatul dă tocmai rezultatele cerute de teoria respectivă. Dacă aparatul se comportă însă altfel, informația aparent superfluă va scoate acest lucru la iveală și-l va feri pe experimentator de interpretări evident eronate. *Acest gen de prezentare a rezultatului ne oferă posibilitatea să știm dacă nu există ceva ce* **nu** *ar trebui să existe, dar, în schimb, are adesea dezavantajul că se pierde în oarecare măsură precizia. În mod normal, o asemenea pierdere de precizie ar trebui acceptată.* **Abia după ce fenomenele au fost perfect înțelese, ne putem permite să urmărim o precizie riguroasă. A căuta în mod prematur o asemenea precizie poate duce la erori grave.** *Chiar atunci cînd avem impresia că sîntem stăpîni pe situație, este recomandabil să menținem pe cît posibil un dispozitiv de control care să prezinte efectul la o scară mai mare, acest dispozitiv creîndu-ne posibilitatea de a ne asigura că totul decurge așa cum trebuie.*

Adesea se exagerează importanța preciziei în fizică. În general, o precizie în care eroarea reprezintă mai puțin de 1% nu are importanță decît atunci cînd ne interesează o *diferență* — așa cum a fost cazul lui Rayleigh cînd a măsurat densitatea azotului (vezi capitolul 6) sau al lui Aston cînd a efectuat măsurători de precizie ale masei atomilor, și cînd micile diferențe față de numerele întregi măsurau (pe o anumită scală) cuantumul energiei dintr-un atom.

O deosebită însemnătate în organizarea experiențelor o are un principiu de ordin general, și anume puritatea lor. *Prin acest cuvînt nu înțeleg puritatea materială, deși*

bineînțeles își are și ea importanța ei, ci organizarea experienței în așa fel încît efectul care ne interesează să nu fie falsificat prin intervenția unor aspecte sau a unor fenomene neavînd nici o legătură cu problema care ne interesează. Acest lucru pare evident, dar este adesea greu de realizat. De foarte multe ori se constată că ceea ce se măsoară ajunge să reprezinte o valoare medie, așa încît în cursul procesului dispar toate amănuntele de mai mare finețe.

Astfel, de pildă, concluzii de cea mai mare însemnătate pentru fizica atomică au fost trase din studiul unor particule rapide de dimensiuni atomice sau subatomice, cu atomi în stare de repaus (vezi p. 72). Idealul ar fi de a înregistra amănuntele ciocnirii dintre particulă și atomul-țintă sau nucleul lui, de a urmări traiectoria particulei care se apropie și traiectoriile separate ale particulelor împrăștiate și ale țintei, fie întreagă, fie fragmentată. Acest lucru este uneori posibil dacă se recurge la camera Wilson sau la plăci fotografice capabile să consemneze urmele atomice. Dar dacă un asemenea lucru nu este posibil, cel mai bine este de a limita atomii-țintă la un strat atît de subțire încît particulele care se apropie să nu efectueze fiecare decît o singură ciocnire utilă. Și totuși persistă un neajuns: nu se poate stabili o legătură univocă între una anume dintre particulele împrăștiate și unul anume dintre fragmentele țintei — cel lovit (chiar dacă detectorul ar putea face distincție între particulele originale și fragmentele țintei), dar totuși și așa se pot afla multe. Cel mai prost lucru este o țintă groasă, așa încît fiecare particulă să aibă mai multe ciocniri. Ea va fi împrăștiată de repetate ori la întîmplare, în sus și în jos, la dreapta și la stînga, iar efectul final va fi mai degrabă rezultatul hazardului decît al caracteristicii ciocnirii. Dintr-o asemenea experiență nu se poate afla aproape nimic, în afară de mărimea — cu totul generală — a puterii medii de împrăștiere pe care o are ținta. Asemenea experiențe sînt însă tentante, deoarece de obicei sînt mai ușor de efectuat decît experiențele în care se iau toate măsurile de precauție pentru a asigura puritatea rezultatului: cînd țintele nu sînt excesiv de subțiri, are loc un foarte mare număr de împrăștieri ce pot fi măsurate.

O regulă obligatorie în efectuarea experiențelor este aceea că de fiecare dată nu trebuie modificată decît o singură condiție, căci în caz contrar se poate produce confuzie, iar deosebirea observată nu va putea fi atribuită unei cauze precise. Această regulă este, firește, judicioasă și destul de ușor de pus în practică atunci cînd nu ai altceva de făcut decît să modifici aranjamentul cîtorva butoane și apoi, de fiecare dată, să învîrtești cîte unul din ele. Există însă și cazuri cînd acest lucru nu este chiar atît de simplu. Așa, de pildă, în cazul experiențelor asupra curentului electric care trece printr-un gaz rarefiat, presiunea gazului nu poate fi schimbată fără a se modifica fie curentul, fie tensiunea care determină mișcarea particulelor încărcate. Aceeași tensiune nu va determina același curent cînd presiunea gazului diferă. În mod similar, dacă vrem să schimbăm gazul, putem folosi noul gaz *fie* la aceeași presiune, *fie* la o presiune la care curentul rămîne același fără a se schimba tensiunea, dar nu și una și alta. Singura cale eficace de a ieși dintr-o dificultate de acest fel constă în a varia fiecare mărime într-o gamă cît mai mare cu putință, dar aceasta echivalează cu a efectua un foarte mare număr de experiențe.

De fapt, regula de a schimba de fiecare dată numai o singură condiție nu dă întotdeauna rezultatele cele mai bune. *Această observație este valabilă în special pentru experiențele din domeniul biologiei, de pildă în agricultură.* Așa, de exemplu, experiențele care au drept obiectiv să studieze efectele unui anumit fel de îngrășămînt chimic prezintă fluctuații destul de mari, datorită unei varietăți de cauze întîmplătoare incontrolabile. Pentru a obține rezultate precise trebuie să supunem unei minuțioase analize statistice un mare număr de experiențe, dar asemenea experiențe sînt costisitoare, iar oamenii doresc să obțină de pe urma lor un folos cît mai mare. În practică, va trebui să se compare un număr de parcele tratate în mod diferit. Pentru precizia statisticii este de dorit ca numărul parcelelor să fie cît mai mare posibil, dar în acest caz există un risc: cu cît mai mare va fi suprafața totală a parcelelor, cu atît mai mari pot fi variațiile în calitatea solului, iar dacă vrem să obținem rezultate corecte, asemenea variații, firește, trebuie pe cît posibil eliminate. R.A. Fisher a studiat cu multă grijă organizarea unor asemenea experiențe, astfel încît să se obțină maximum de informații sigure de pe urma unei anumite experiențe. În majoritatea cazurilor trebuie să se țină seama de două (sau chiar mai multe) variabile, de pildă să se găsească cel mai bun îngrășămînt chimic care să fie folosit în cultura cîtorva varietăți de grîu. Fisher consideră că cea mai bună metodă ar fi aceea de a efectua o singură experiență cuprinzătoare pe mai multe parcele cultivate cu diferite varietăți și tratate cu diferite îngrășăminte. El socotește preferabil acest procedeu aceluia de a efectua un număr de experiențe cu fiecare varietate în parte. Procedeul preconizat de Fisher nu prezintă numai o eficiență sporită — atît sub raportul timpului cît și al costului—, dar poate furniza și o informație mai variată.

Dar, în fond, cel mai important factor, acela care asigură succesul cercetării, îl constituie alegerea judicioasă a temei. În fiecare problemă științifică există la un moment dat cîteva aspecte sau, ca să zicem așa, cîțiva muguri care fac probabilă obținerea unui progres. Ele trebuie depistate, iar iscusința constă în a le descoperi înainte ca prea mulți oameni să le fi observat și să se fi creat astfel confuzie. Uneori avem însă de-a face cu o realizare efectiv cu totul nouă — așa cum a fost cazul cu descoperirile lui Roentgen și ale lui Rayleigh. Aici norocul joacă un rol de seamă, asemenea descoperiri fiind poate cele mai însemnate, deoarece deschid calea spre domenii încă necunoscute.

Cînd ne efectuăm experiențele, așteptările noastre nu trebuie să fie excesive; pînă să ajungi la UN succes va trebui să treci prin numeroase eșecuri sau semieșecuri, iar drept răsplată pentru eforturile depuse nu obții adesea decît rezultate lipsite de importanță. Dar, cu toate că norocul contează atît de mult, cert este că atunci cînd un om a lucrat o viață întreagă la o chestiune promițătoare, trebuie să aibă un deosebit ghinion pentru a nu ajunge la rezultate cu adevărat valoroase.

Din păcate, mulți, foarte mulți trudesc în mine în care minereul devine tot mai sărac. Desigur, cîteodată

reușesc și ei să dea lovitura, descoperind un filon nou și productiv, dar așa ceva se întîmplă destul de rar. De cele mai multe ori succesul surîde noilor veniți care au un punct de vedere nou.

C. T. R. Wilson (1869-1960)

Wilson a trăit pînă la vîrsta de nouăzeci de ani în plină putere și înconjurat de dragostea tuturor celor ce l-au cunoscut. A făcut parte din primul grup de oameni de știință care au lucrat în Laboratorul Cavendish. Și-a început cariera de cercetător cu o lucrare despre formarea norilor, fenomen care îi era foarte familiar, deoarece îi plăcea să urce pe dealurile din Scoția. Într-un anumit sens, el nu a abandonat niciodată acest studiu fascinant, care l-a condus pe căi foarte ciudate și pasionante. În primul rînd, el a descoperit felul în care se formează picăturile de apă, mai ales în jurul micilor ioni electrizați (produși — după cum știm azi — de radiațiile cosmice sau de o radiație terestră). Această descoperire a devenit baza metodei elaborate de J.J. Thomson pentru măsurarea sarcinii ionilor produși de radiațiile X (p.53). În al doilea rînd, a folosit aceeași descoperire pentru a concepe camera Wilson, în care traiectoria unei particule ionizate prin aerul umed poate fi vizualizată prin răcirea bruscă a aerului, ceea ce determină umezeala să se condenseze pe ioni, aceștia devenind vizibili și putînd fi deci fotografiați. Răcirea uniformă necesară a fost realizată printr-o expansiune bruscă a aerului umed. Această *cameră cu ceață* este una dintre cele mai importante unelte din fizica atomică și a contribuit mai mult decît orice altceva la faptul că atomii, electronii și celelalte asemenea particule au ajuns să fie considerate drept o realitate.

Wilson a fost un excelent experimentator. Era înzestrat cu o prudență tipic scoțiană și lucra foarte încet, confecționîndu-și singur majoritatea aparatelor. Despre el circulă o anecdotă devenită celebră și care e adevărată, dacă

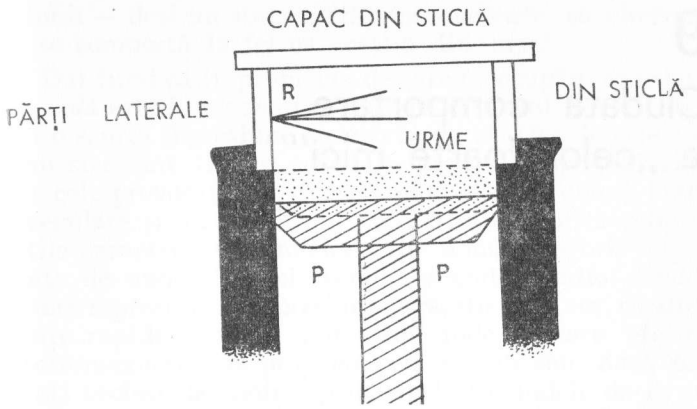


Fig. 15 O secțiune a camerei de expansiune din aparatura folosită de C.T.R. Wilson pentru observarea traiectoriilor radiațiilor alfa. Pistonul *PP* este coborît brusc din poziția indicată de liniile punctate pînă în poziția indicată de liniile pline, așa încît aerul din camera de expansiune este răcit brusc datorită acestei expansiuni, iar ceața se fixează pe traiectoriile atomilor de heliu emiși de radiu în punctul *R*.

nu chiar în fapt, în orice caz în spiritul ei: se pretinde că într-o zi d-l X și-ar fi luat rămas bun de la Wilson pe cînd acesta poliza o placă de sticlă în camera sa din Laboratorul Cavendish. Trei ani mai tîrziu, d-l X s-a înapoiat la Cavendish și C.T.R. tot își mai poliza placa. Făcînd o remarcă despre acest lucru, Wilson a răspuns: „Da, dar e altă placă". El nu a efectuat decît puține experiențe, dar fiecare din ele valorează cît întreaga producție științifică a majorității celorlalți cercetători. Trebuie să mai spun că era unul din cei mai proști conferențiari din lume, dar un excelent profesor pentru un singur student — fapt pentru care am toate motivele să-i fiu recunoscător — și se pricepea de minune să conceapă o experiență cu scop didactic.

Era mic de statură, cu o față slabă, foarte ageră și avea un pronunțat accent scoțian.

9

Ciudata comportare a „celor foarte mici"

În acest capitol mi se pare cel mai indicat ca, după ce voi fi vorbit pe scurt despre unde, să enunț anumite concluzii, și abia după aceea să arăt motivele care au dus la ele. Concluziile pe care le am în vedere sînt în evidentă contradicție cu bunul simț, dar îi pot asigura pe cititori că la această stranie soluție nu s-a ajuns decît cu multă dificultate și nu fără a se fi încercat o mare varietate de soluții alternative, dintre care nici una nu a rezistat testului experienței.

Prin „cei foarte mici" înțeleg aici electronii — cele mai ușoare particule de care ne vom ocupa —, dar nici protonii și nici chiar atomii nu sînt în această privință fundamental diferiți de electroni. Masele mai mari ale protonilor și ale atomilor îi fac mai puțin susceptibili de comportări ciudate ca acelea despre care vom discuta. Este o chestiune de gradație, dar pe cînd în cazul electronilor această particularitate este izbitoare, ea poate fi detectată numai cu oarecare greutate în cazul atomilor, iar în ce privește corpurile mai mari, existența particularității este pur teoretică. Din multe puncte de vedere,

fotonii — deși nu sînt entități permanente, ca electronii — se comportă la fel ca aceștia din urmă.

Dat fiind că în problema de care ne ocupăm conceptul de *undă* este fundamental, sper că cititorul îmi va îngădui o scurtă digresiune cu privire la el. Undele cele mai familiare sînt, firește, cele ce se produc pe apă (valurile), dar cele provocate de vînt pe mare sînt de obicei foarte neregulate și nu manifestă cu claritatea dorită proprietățile caracteristice undelor. Alte două categorii importante de unde sînt cele sonore și undele radio. Undele sonore reprezintă compresiuni și rarefieri în aer, cu alternanțe rapide. Undele radio sînt unde în care efectele electromagnetice se propagă prin spațiu sau, dacă preferați vechea denumire, prin eter[1]. În undele de la suprafața unei mări adînci — adică în valuri —, fiecare particulă de apă se învîrtește într-un cerc vertical, ridicîndu-se spre creasta valului și întorcîndu-se apoi spre baza acestuia. În cazul undelor sonore, aerul se mișcă înainte și înapoi pe direcția pe care se propagă unda. La undele radio forța electrică ce acționează asupra antenei se află în unghi drept față de direcția în care se deplasează unda și oscilează înainte și înapoi de-a curmezișul acestei direcții. Numărul oscilațiilor pe secundă (denumit frecvență) diferă foarte mult pentru fiecare fel de undă, chiar în cazul acelor unde la care distanța dintre crestele succesive — sau, ceea ce este echivalent, între pozițiile extreme — este aceeași. Dacă această distanță (denumită lungime de undă) este de un metru, atunci frecvența undelor în apă este de 1,25, a undelor sonore este de 340 — ceea ce corespunde unei note de la mijlocul claviaturii unui pian —, iar pentru undele radio ea este de 300 de milioane și se află în banda utilizată pentru televiziune. Diferențele sînt o consecință directă a vitezelor — extrem de diferite — cu care se propagă undele apei, undele sonore și undele radio.

[1] Aerul obișnuit nu are decît un efect neglijabil asupra propagării undelor radio, dar straturile superioare ale atmosferei conțin un mare număr de electroni liberi și pot, în anumite împrejurări, reflecta undele și, în felul acesta, favoriza propagarea lor în jurul Pămîntului.

Dar în ciuda acestor mari deosebiri atît în ce privește mediul de propagare și viteza, cît și în ceea ce privește natura a ceea ce se propagă, toate undele sînt exemple de *modificare continuă*, în care ceea ce se întîmplă într-un loc este consecința a ceea ce s-a întîmplat într-un loc imediat anterior.

O caracteristică comună a undelor o constituie și o altă proprietate foarte importantă, cunoscută sub denumirea de *„interferență"*. Prin acest termen desemnăm faptul că în anumite locuri și în anumite momente două unde se pot anihila reciproc. Dacă, de pildă, piciorul unei unde de apă se va afla în același loc și în același moment cu creasta unei alte unde, ele se vor anihila reciproc. În majoritatea cazurilor, această anihilare nu va fi permanentă într-un anumit loc, dar este posibil să se realizeze asemenea aranjări ale undelor încît să se producă tocmai o astfel de anihilare permanentă. În acest caz zone de calm vor alterna cu zone de mari perturbații, acestea din urmă fiind locurile unde în aceeași clipă coincid picioarele undelor, iar în clipa următoare crestele. Cînd undele coincid în felul acesta se spune că sînt *„în fază"*, iar cînd ele se anihilează — că sînt *„defazate"*. Din păcate, undele apei sînt de obicei prea neregulate pentru ca aceste efecte să poată fi văzute cu claritate, deși oricine a călătorit pe mare își dă seama că există zone de calm relativ chiar și în cazul unei mări destul de agitate.

Interferența poate fi demonstrată în cazul undelor luminoase — asemănătoare cu undele radio, dar mult mai scurte — și anume cu ajutorul unei experiențe care datează de la începutul secolului al XIX-lea și pe care o datorăm lui Young. Pentru efectuarea acestei experiențe, lumina, emanată de o fantă foarte îngustă, luminează un ecran în care sînt practicate alte două fante, foarte apropiate una de cealaltă, toate trei fantele fiind paralele. Dacă lumina care trece prin ecran este apoi captată pe un alt ecran, se va constata că în loc să se vadă două linii luminoase — așa cum ar fi fost de așteptat din considerente geometrice — se vor vedea o serie de benzi întunecate, paralele cu fantele. Dacă lumina este albă, benzile sînt colorate și nu se văd decît cîteva. Dacă se

folosește o lumină galbenă puternică provenită de la o lampă cu sodiu, benzile — negre și galbene — pot fi numeroase. Benzile luminoase se vor afla în locurile în care undele provenite de la două fante din urmă ajung să fie în fază, iar benzile negre — acolo unde ele ajung tocmai în clipa cînd sînt defazate, așa încît efectul unora este anihilat de efectul celorlalte. Dacă în loc de două fante paralele avem un mare număr de fante așezate la distanțe egale între ele, benzile luminoase vor fi mult mai precis conturate și mai luminoase, iar zonele negre — în mod corespunzător mai mari, așa încît benzile se transformă în linii luminoase pe un fundal negru. Un asemenea aranjament de fante poartă denumirea de *rețea de difracție*.

În general se consideră că sunetul se propagă și pe după colțuri, iar lumina nu. În realitate, nu este decît o chestiune de gradație. Sunetul este de fapt mult atenuat de obstacole; pe de altă parte, încă din secolul al XVII-lea s-a demonstrat cu ajutorul unor experiențe foarte precis executate, că și lumina poate fi ușor deviată spre umbră. Diferența este doar cantitativă și corespunde pur și simplu marii deosebiri dintre lungimile de undă respective. În cazul luminii tipice, undele au o lungime de 1/100 000 cm, pe cînd undele sonore se află în banda de ordinul metrilor. Aceasta explică întru totul deosebirile în ce privește capacitatea diverselor unde de a ocoli colțurile. Undele foarte scurte se propagă după o traiectorie foarte apropiată de linia dreaptă. Ele pot fi calificate drept „raze". Dar mișcarea în linie dreaptă este proprie — așa cum afirmaseră Galilei și Newton — particulelor asupra cărora nu acționează nici o forță. Acesta a fost probabil considerentul care l-a determinat pe Newton să creadă că lumina constă din particule și, după cum vom vedea, nu greșise chiar atît de mult. Cînd spunem „unde scurte" înțelegem că ele sînt scurte în raport cu celelalte lungimi în cauză, de pildă înălțimea unei case cînd este vorba de un sunet care trece dintr-o stradă într-alta sau, în cazul luminii, dimensiunea obiectului care aruncă umbra.

Ca și firicelele de nisip, particulele lui Newton nu au nimic ce ar aminti de proprietățile specifice undelor,

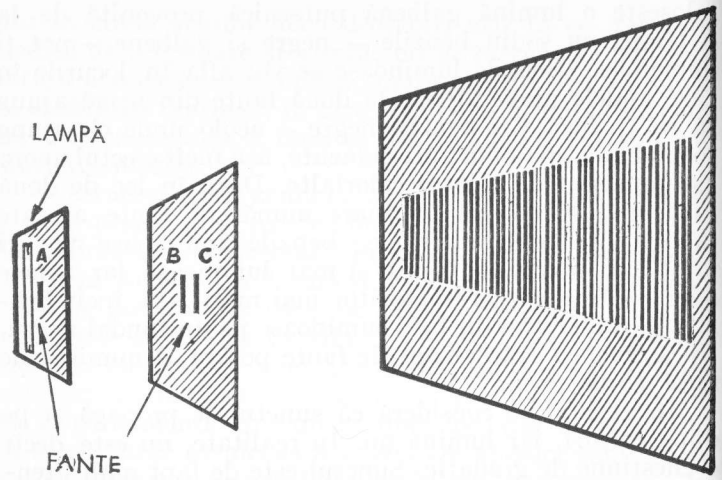


Fig. 16 Experiența lui Young cu privire la interferență. Fanta *A* este necesară pentru a se obține un fascicul de lumină foarte fin care trece prin fantele *B* și *C*, de asemenea foarte fine. Fasciculele *AB* și *AC* se împrăștie orizontal prin difracție și se suprapun pe ultimul ecran dînd naștere unor benzi, după cum se vede în imagine (pentru mai multă claritate, lățimea benzilor și distanța dintre ele sînt exagerate).

cum ar fi interferența. Dacă două particule se află una lîngă cealaltă, ele rămîn două particule și nu sînt uneori zero și alteori patru — așa cum s-ar întîmpla dacă ar fi unde. Noua concepție spune însă că în cazul celor „foarte mici" așa ceva — sau ceva asemănător — trebuie să aibă efectiv loc. Cu alte cuvinte, noua particulă are unele din proprietățile undelor. Lucrul acesta va trebui să-l explicăm mai în amănunțime.

În cazul unui electron aflat în mișcare nu putem vorbi despre o traiectorie bine definită, ca a unui obuz tras dintr-un tun; nu putem lua în considerare decît începutul și sfîrșitul ei, înțelegînd prin aceste cuvinte acele locuri unde electronul a produs sau va produce un efect clar. Potrivit concepției moderne, întrebarea ce anume face el între aceste două locuri nu are nici un

sens. Această concepție nu este lipsită de rațiune, deoarece — în afară de cazul cînd este interpus un ecran care să capteze particula, asemănător cu ecranele de sîrmă prin care sînt trase gloanțele pentru a le măsura viteza — nu se poate spune unde s-a dus de fapt electronul și nici cînd și-a parcurs drumul. Singurele lucruri ce pot fi precizate sînt locul de pornire și cel de sosire. În cazul obuzului tras dintr-un tun, pot exista ecrane care să-l detecteze fără a-l stînjeni. În cazul electronului însă, după cum vom vedea, acest lucru nu poate fi făcut. Orice lucru care l-ar detecta, de fapt îl va stînjeni și trebuie considerat ca fiind, ca să spunem așa, ținta temporară a electronului.

Noua teorie depinde întru totul de această problemă a observării și a perturbației care însoțește întotdeauna observarea. Este vorba de „teoria cuantică". Cuanta în chestiune este o *unitate* a ceea ce se cheamă „acțiune". Este o mărime definită pe cale matematică și folosită în mecanica teoretică. Termenul a fost introdus de către marele matematician irlandez William Rowan Hamilton cu mai bine de un secol în urmă. Nu este necesar să explicăm aici amănunțit noțiunea de „acțiune"; vom arăta numai că schimbările care au loc corespund în linii mari măsurii în care un corp îl influențează pe altul sau se încarcă el însuși. Dacă „acțiunea" nu se poate produce decît în unități discrete, atunci, dacă are loc o influență, ea nu poate fi mai mică decît una dintre aceste unități, iar dacă lucrul care ne interesează are vreun efect asupra unui detector, acesta trebuie să sufere și el un anumit minim de schimbare. Riguros vorbind, fenomenul este în egală măsură adevărat pentru obuz și electron, dar în timp ce în cazul obuzului perturbația mișcării este neglijabilă, dat fiind impulsul mare al obuzului, în cazul electronului efectul va fi întotdeauna important și chiar covîrșitor de important.

Ne vom opri din nou o clipă pentru a vedea cum poate fi detectat un electron. Electronii rapizi, ca și particulele alfa, produc în anumite cristale scintilații. Acestea sînt mai slabe decît cele cauzate de particulele alfa — mai energice — pe care le folosea Rutherford, dar pot fi amplificate cu ajutorul unor celule fotoelectrice și pot

fi înregistrate pe cale electrică. Un alt detector îl constituie contorul Geiger — un tub conținînd de obicei un amestec constînd din argon și dintr-un gaz organic, tensiunea electrică fiind puțin mai joasă decît ar fi necesar pentru a provoca o descărcare. Electronul va declanșa descărcarea, iar impulsul electric va fi numărat, după care instrumentul va reveni automat la starea necesară pentru a înregistra electronul următor. Cele două metode necesită electroni energici și ele nu indică decît că electronul a trecut prin instrument pe undeva prin zona sensibilă, care este destul de mare. Poziții mai precise ale electronilor pot fi obținute cu ajutorul camerei Wilson sau al unor plăci fotografice speciale. În camera Wilson, traiectoria unei particule ionizate, cum ar fi un electron rapid, devine vizibilă mulțumită minusculelor picături de apă care s-au format pe particulele încărcate — ioni — atunci cînd prin expansiunea aerului umed din cameră se produce un nor artificial. Pe o placă fotografică, după developare, trecerea unui electron rapid poate fi văzută sub forma unui șir de puncte negre, fiecare reprezentînd cîte o părticică de bromură de argint din emulsia fotografică sensibilizată de trecerea unui electron. În aceste două din urmă cazuri se poate vedea *o urmă* — traiectoria electronului. Dar în fiecare punct în care electronul produce un efect detectabil — de pildă sensibilizarea bromurii de argint sau o pereche de ioni — el va fi deviat într-o direcție necunoscută și imprevizibilă, așa încît traiectoria lui nu va fi o linie dreaptă, ci va fi strîmbată într-un mod cu totul dezordonat.

Pentru a detecta electronii lenți, aceștia sînt de obicei accelerați cu ajutorul unei forțe electrice și apoi detectați printr-una din metodele indicate mai sus. Dacă, de pildă, electronul este emis de o placă de zinc sub acțiunea luminii ultraviolete (p. 53), el pornește încet, dar poate fi accelerat aplicîndu-se o tensiune între placă și o grilă de sîrmă, așezată paralel, oarecum la fel cum un schior care, sărind peste o movilită, dobîndește prin acțiunea gravitației o viteză mare.

Dovada cea mai directă a naturii ondulatorii a electronilor — deși nu prima indicație — a constituit-o felul lor de a se comporta atunci cînd trec printr-un

cristal metalic sau cînd sînt reflectați de un asemenea cristal[1]. Într-un cristal metalic (de fapt, în orice cristal) atomii sînt așezați în șiruri paralele care se întind de-a lungul cristalului și care sînt întrerupte numai de imperfecțiunile creșterii (fig. 1). Spațiul dintre două rînduri paralele vecine poate fi considerat drept o fantă, iar cristalul în ansamblul său drept un mare număr de fante paralele, în fond o rețea de difracție așa cum a fost descrisă mai sus. Dacă cristalul este foarte subțire, electronii rapizi pot trece prin el fără vreo perturbație prea mare. Se folosește cristalul pentru că este necesar ca fantele să fie foarte apropiate unele de celelalte; pe cale artificială este greu de obținut asemenea fante (deși lucrul nu este imposibil). Cînd se efectuează experiența se constată că electronii, captați pe o placă fotografică, au înnegrit placa formînd un model exact ca acela produs de o lumină avînd o anumită lungime de undă. Modelul este întrucîtva complicat, deoarece așezarea atomilor într-un cristal adevărat nu este chiar atît de simplă cum ar reieși din descrierea de mai sus, mai ales atunci cînd pelicula de metal este alcătuită (ceea ce este adesea cazul) dintr-un număr de cristale separate. Amănuntele complicatelor modele rezultate pot fi însă explicate presupunînd că electronii se comportă ca unde de o anumită lungime ce depinde de viteza lor. Relația dintre viteză, masă și lungimea de undă include mărimea h, aceasta reprezentînd cuanta de acțiune, concept introdus în 1900 de Planck pentru a explica anumite proprietăți ale radiației termice emise de un corp fierbinte. De atunci, h a avut în fizică un rol multilateral și important. Experiențele au fost determinate de o teorie formulată de L. de Broglie, potrivit căreia *oricărei* particule ar trebui să-i corespundă o undă conform unei legi[2]. În privința electronilor,

[1] Fenomenul a fost demonstrat pentru prima dată în 1927 de Davisson și Germer la New York și scurt timp după aceea, în mod independent, de autorul lucrării de față la Aberdeen. Metoda descrisă în text este cea a autorului (vezi fig. 17) *(N.A.)*. Pentru rezultatele obținute în studiul difracției electronilor, autorul și Davisson au obținut în 1937 Premiul Nobel *(N.T.)*.

[2] Potrivit acestei legi, lungimea de undă = h împărțit la impulsul particulei *(N.T.)*.

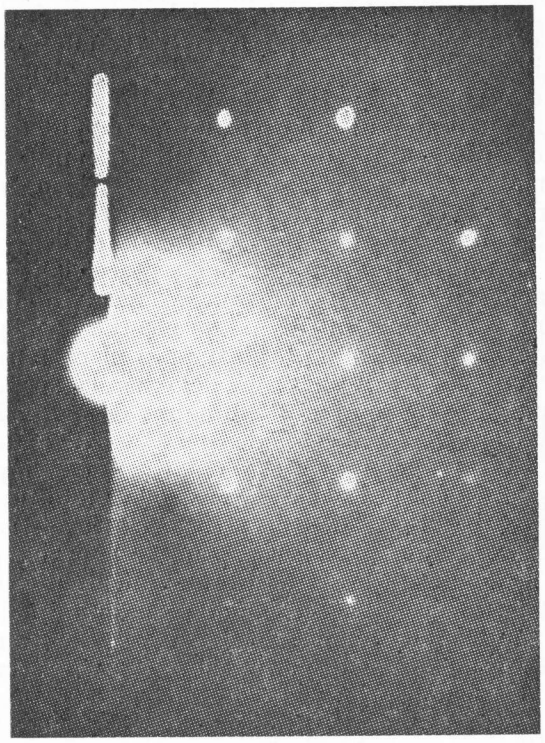


Fig. 17 Figuri de difracție.

Modelul se datorează unor electroni trecuți prin mici asperități ale unui cristal de argint a cărui umbră poate fi văzută în stînga imaginii (linia verticală de jos nu trebuie luată în considerare, ea reprezentînd un semn de reper făcut după efectuarea experienței principale). Cristalul funcționează ca două rețele de difracție ale căror linii se intretaie în unghiuri drepte. A fost folosită o sursă punctiformă de electroni și nu o fantă ca într-un spectroscop optic obișnuit. De aceea se obține un model cu puncte și nu unul cu linii. Asperitățile sînt echivalente cu „pelicula subțire" de care se vorbește în text.

legea a fost pe deplin confirmată. De atunci ea a fost de asemenea confirmată pentru protoni și pentru atomii de heliu, deși experiențele respective sînt mai greu de efectuat.

Cele de mai sus ne arată că uneori, într-un fel sau altul, particulele se comportă ca unde. Pe de altă parte, în ultimii douăzeci de ani s-au acumulat fapte care dovedesc că lumina se comportă uneori ca particulele. Timp de un secol lumina fusese considerată ca fiind de natură ondulatorie, ceea ce explică cu succes multe experiențe frumoase și complicate (fig. 16), ea prezentînd totuși și o comportare ciudată, denumită *efect fotoelectric*. O lumină care cade pe o placă de zinc (și pe alte corpuri) determină o emisie de electroni (p. 53). Acești electroni posedă o energie care nu depinde de intensitatea luminii, ci numai de culoarea ei, adică, în limbajul teoriei ondulatorii, de frecvența ei (p. 111). O lumină mai puternică va produce, desigur, electroni mai mulți, nu însă și mai rapizi. O asemenea comportare nu se aseamănă cu aceea a unor unde; ceea ce am arătat ar fi echivalent cu a spune că o adiere de vînt ar arunca pe țărm pietricele cu aceeași violență cu care ar face-o o furtună puternică, deși numărul pietrelor ar fi mai mic. Ar corespunde însă cu ceea ce ne-am aștepta de la particule. Dacă o clădire este izbită de niște proiectile trase cu o pușcă, dimensiunea fragmentelor desprinse din zid nu va depinde de numărul gloanțelor care îl lovesc (cu excepția cazului, extrem de rar, că două gloanțe ar lovi simultan în același loc). Dar nu s-ar putea oare ca în zinc să existe un mecanism în stare să colecteze energia undelor, pînă cînd se produce o explozie, iar apoi să emită un electron cu o energie determinată de mecanism, la fel ca săgeata proiectată de o arbaletă? Cînd s-a calculat însă cît timp ar fi necesar pentru ca un fascicul slab de lumină să încordeze arbaleta imaginară, s-a constatat că ar fi vorba de un timp destul de îndelungat. Dacă s-ar folosi în acest scop radiațiile Roentgen — care nu sînt altceva decît lumină ultravioletă extremă — ar fi nevoie de ani de zile; niciodată însă nu a putut fi detectată vreo întîrziere în apariția electronilor, nici chiar una de o milionime de secundă.

Timp de ani de zile acest paradox — ca și altele — le-a dat multă bătaie de cap fizicienilor. Natura părea a fi irațională, ceea ce stîrnea un sentiment ciudat, pe care cei ce l-au resimțit nu-l vor uita niciodată. Teoria lui de Broglie a ocolit paradoxul, afirmînd că nu este vorba de nici un paradox, că fenomenul este în însăși firea lucrurilor, iar experiențele efectuate cu electroni au confirmat această afirmație. Faptul că asemenea lucruri nu se întîmplă în viața de toate zilele nu prezintă nici o dificultate. Dat fiind că h *este o mărime mică, ea are un efect perceptibil numai în cazul unei unde de foarte mare frecvență, sau în cazul unei particule cu impuls foarte mic, ceea ce în practică înseamnă o masă foarte mică, nu cu mult mai mare decît aceea a unui electron.*

Pentru a face ordine în această chestiune, particulele care presupunem că există în lumină au fost denumite *fotoni*. Dat fiind că fotonii se deplasează cu viteza luminii, ei ar trebui să aibă o masă și o energie infinite în cazul că ar poseda o *masă de repaus*. De aceea masa lor de repaus trebuie să fie zero, dar pe măsură ce se deplasează cu viteza luminii, fotonii dobîndesc masă, impuls și energie. Cu douăzeci de ani înainte ca de Broglie să-și fi formulat teoria, Einstein emisese părerea că lumina se propagă în *cuante*, fiecare avînd o energie egală cu $h\nu$ unde ν este frecvența luminii. Fotonii nu există decît atunci cînd se deplasează cu viteza luminii; ei nu pot fi strînși într-o sticlă. Deși atît electronii cît și fotonii sînt exemple de particule ale lui de Broglie și aceeași argumentare este valabilă atît pentru unii cît și pentru alții, ne vine mai ușor să ne imaginăm electronii, deoarece nu trebuie să recurgem la relativitate, electronii nefiind obligați să se miște totdeauna cu foarte mare viteză. În cele ce urmează ne vom limita expunerea la electroni.

Să vedem acum unde am ajuns. Virtual, am depășit paradoxul fotoelectric și am explicat noile experiențe efectuate cu electroni, aruncînd peste bord legile mișcării enunțate de Newton. Într-un fel, mișcările particulelor trebuie să aibă o legătură cu undele; exprimîndu-ne mai puțin riguros, putem spune că particulele apar acolo unde undele sînt puternice. Dar, după cum am văzut, undele nu se propagă în linii drepte, niciodată în linii riguros drepte,

în cel mai bun caz aproximativ drepte, chiar atunci cînd este vorba de undele scurte. De aici rezultă că trebuie abandonată ideea emisă de Galilei, și anume că o particulă asupra căreia nu acționează nici o forță va continua să se deplaseze la infinit într-o linie dreaptă. Nu că particulele s-ar opri, dar ele se vor dispersa, căci — după cum ne arată experiența de zi cu zi în privința sunetului — așa se comportă undele atunci cînd trec printr-o fantă sau printr-un orificiu. Dar cum se poate „dispersa" o *particulă?* Ea se poate dispersa în sensul că nu se mai poate spune unde se află, tot ce se poate spune este că se află undeva în undă. În limbaj tehnic, intensitatea unei unde este măsura *probabilității* de a găsi electronul într-un anume loc dacă situăm acolo un detector. **Undele sînt un mod de a calcula în ce loc s-ar putea duce electronul (sau fotonul), dar NU (și acest lucru este un aspect esențial) exact locul unde se duce efectiv.** Undele sînt niște fantome, ele neputînd fi detectate decît prin intervenția electronilor, particule care înnegresc placa fotografică sau provoacă scînteierea cristalelor.

Nu este necesar să se știe (și este poate chiar lipsit de sens să ne punem o asemenea întrebare) ce mediu transportă undele sau care este mărimea fizică ce corespunde în unda apei mișcării unei picături sau într-o undă sonoră schimbării de presiune a aerului. Undele și-au îndeplinit funcția atunci cînd ne-au spus în ce loc este probabil să se afle electronul.

Teoria inițială enunțată de către de Broglie a fost mai degrabă de natură să dea de gîndit decît să ofere consecințe precise, dar **Schrödinger și alții au transformat-o într-o teorie matematică — cunoscută sub denumirea de mecanică ondulatorie — care poate prezice consecințele aproape oricărei experiențe posibile. Una din ciudățeniile acestei teorii este paralelismul dintre proprietățile undelor și cele ale particulelor. Într-un anumit sens putem avea de-a face fie cu unde, fie cu particule, dar nu cu ambele în același timp.** Dacă vom efectua o experiență ca aceea descrisă mai sus, menită să le detecteze, vor apărea undele. Se pot concepe de asemenea experiențe avînd drept scop să detecteze proprietățile particulelor — cum ar fi conservarea impulsului în cazul ciocnirilor — și ele vor

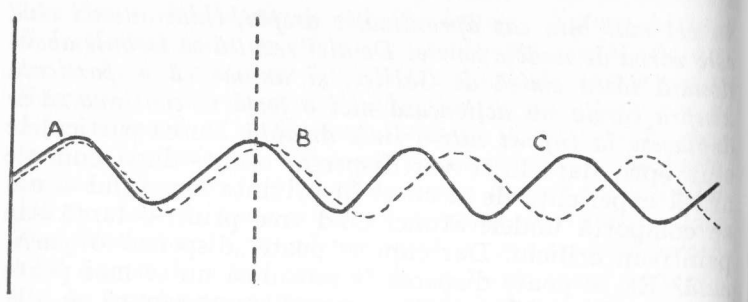


Fig. 18 Unde într-o regiune limitată.
Undele negre și cele punctate sînt aproape de nedeosebit în porțiunea punctată inițială, să zicem *AB*, dar ele se „defazează" tot mai mult și se „anihilează" reciproc în punctul *C*. Dacă ne limităm observațiile la regiunea *AB*, cele două unde sînt aproape identice și lungimea de undă va fi determinată inexact.

da rezultate, dar împrejurările în care poate fi observat un grup de efecte exclud observarea celuilalt grup și viceversa. Niels Bohr a dat acestei relații denumirea de *„complementaritate"*.

Complementaritatea este ilustrată de un principiu datorat lui Werner Heisenberg — denumit principiul de incertitudine și care afirmă că observarea poziției și a impulsului se exclud reciproc. Dacă o observație este precisă, cealaltă trebuie să fie imprecisă. *Mecanica ondulatorie afirmă că unda cuprinde totalitatea informațiilor pe care le putem obține despre un electron. Dacă știm că unda este limitată la o mică regiune a spațiului, electronul trebuie să se afle undeva în această regiune; dacă însă în regiunea respectivă nu încap decît cîteva unde, nu se poate spune cu certitudine în care din ele se află electronul, căci oricare din ele s-ar potrivi la fel de bine. Dar lungimea de undă și impulsul sînt invers proporționale. Cînd una din aceste mărimi crește, cealaltă descrește, așa încît dacă una este incertă, cealaltă trebuie să fie și ea incertă. Pe de altă parte, dacă luăm un lung tren de unde, atunci impulsul poate fi bine determinat, dar undele vor ocupa un spațiu întins, iar electronul se poate afla oriunde în acest spațiu.*

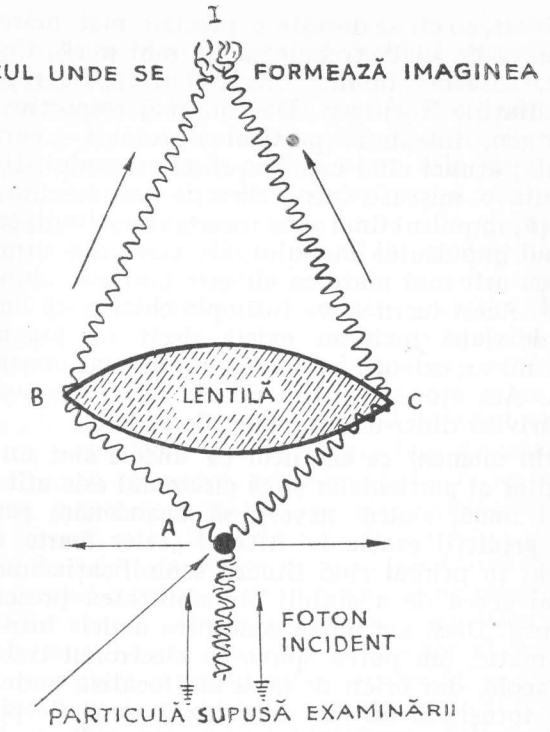


Fig. 19 Microscop fotonic. ABI și *ACI* sînt traiectorii posibile ale unui foton. *ACI* va lovi electronul în stînga, iar *ABI* — în dreapta. Notați că, în conformitate cu un rezultat binecunoscut în microscopie, unghiul *BAC* trebuie să fie mare dacă se dorește ca regiunea imaginii să fie cît mai mică cu putință, adică circa jumătate din întinderea transversală a undei.

Acesta este modul în care privește materia teoria ondulatorie.

Teoria particulelor încearcă să *localizeze* electronu ca particulă, privindu-l printr-un microscop și folosind o anumită lumină. Potrivit unei legi binecunoscute în microscopie, această lumină poate localiza particula doar cu o precizie ceva mai mare decît o lungime de undă,

așa încît, cu cît se dorește o precizie mai mare, cu atît lungimea de undă trebuie să fie mai mică. Cu alte cuvinte, această „lumină" va trebui să fie reprezentată de radiațiile Roentgen. Dar lumina, respectiv radiațiile Roentgen, înseamnă particule — fotonii — care posedă impuls; atunci cînd cad asupra electronului, îi imprimă acestuia o mișcare într-o direcție necunoscută. În consecință, impulsul final este incert, incertitudinea fiind de ordinul impulsului fotonului, iar acest din urmă impuls este cu atît mai mare cu cît este mai mică lungimea de undă[1]. Acest lucru se va întîmpla chiar dacă lumina este atît de slabă încît nu există decît un singur foton. Dacă nu ar exista nici acesta, nu ar mai exista nici lumina. Am ajuns deci din nou la exact aceeași dilemă, dar privită dintr-un alt punct de vedere.

Din moment ce admitem că undele sînt un fenomen însoțitor al particulelor și că electronul este atît particulă cît și undă, sîntem nevoiți să abandonăm posibilitatea unor predicții exacte la nivelul „celor foarte mici". Aceasta, în primul rînd fiindcă semnificația undelor este numai aceea de a stabili probabilitatea prezenței unui electron. Dacă am putea concentra undele într-un punct matematic, am putea spune că electronul trebuie să se afle acolo, dar oricît de mult am focaliza undele, va rămîne totuși, în cel mai bun caz, o zonă de perturbație de circa jumătate din lungimea de undă, socotită atît pe direcția propagării cît și transversal. Acest lucru se datorează faptului că undele sînt în esență continue, aflîndu-se deci în total contrast cu particula ideală. Dar chiar admițînd că am face abstracție de acest fapt, tot nu am putea formula predicții precise, deoarece, conform principiului enunțat de Heisenberg, nu am putea stabili condițiile de pornire ale electronului. Astronomii pot prezice mișcarea unei planete cu o precizie ce nu depinde decît de priceperea lor în efectuarea măsurătorilor. Ei o pot face fiindcă observațiile nu afectează mișcarea planetei, iar orbita ei poate fi determinată printr-un lung șir de

[1] Deoarece cu cît lungimea de undă este mai mică, cu atît este mai mare frecvența, iar energia fotonului este proporțională cu această frecvență.

observații, fiecare dintre acestea sporind exactitatea predicției. Dar fiecare observare a unui electron îl perturbează *într-un mod imprevizibil*, așa încît nu obținem nimic printr-o repetare a observației. Dat fiind că nu putem ști cu precizie unde anume se va afla electronul la pornire și nici viteza cu care se deplasează, nu există nici o speranță de a prezice unde se va afla el într-un moment ulterior. Nu trebuie uitat că principiul lui Heisenberg se bizuie pe faptul că și lumina are particule — fotonii — și că acestea pot transmite impulsul. Dacă lumina nu ar fi decît unde „pure", ea nu ar exercita asupra electronului decît o presiune constantă și moderată de care s-ar putea ține seama și, în plus, am putea face lumina oricît de slabă dorim, reducînd în felul acesta efectul ei de perturbare. Noi nu putem însă detecta mai puțin de o cuantă de lumină, adică mai puțin de un foton, căci la mai puțin de un foton nu mai există lumină. Așa încît această cale de ieșire ne este barată.

Înainte de a discuta despre consecințele foarte importante ale acestei concluzii, este indicat să ne referim pe scurt la alte cîteva aspecte ale teoriei cuantelor. Din punct de vedere istoric, punctul de plecare al întregii teorii l-a constituit raportul dintre frecvență și energie $E = h\nu$, deși în prezent această formulă poate fi obținută ca deducție din mecanica ondulatorie. Într-o formă puțin modificată, teoria cuantică a fost folosită de Planck pentru a explica spectrul luminii emise de un corp negru ideal, iar de Einstein pentru a explica efectul fotoelectric. Această legătură strînsă dintre frecvență și energie explică totodată de ce unele corpuri solide dure, în special diamantul, prezintă la temperaturi joase anomalii în comportarea lor calorică. În linii mari, iată ce se întîmplă: frecvența atomilor lor este atît de ridicată și deci energia lor cuantică e atît de mare, încît la temperaturi joase ei nu pot obține suficientă căldură pentru a vibra: ca urmare, majoritatea atomilor se află în repaus.

Constanta lui Planck determină și dimensiunile atomilor. Sistemul solar nu conține nimic ce ne-ar da posibilitatea de a determina dimensiunile absolute ale orbitei planetelor. Acestea ar putea fi de două ori mai mari sau numai pe jumătate din ceea ce sînt în realitate

— și totuși sistemul solar ar funcționa la fel de bine. Dimensiunile efective trebuie să fie consecința unor evenimente istorice, deocamdată necunoscute, care au creat planetele. Dar atomii au dimensiuni precis stabilite: așa, de pildă, toți atomii de carbon au aceleași dimensiuni, chiar și cei ai diferiților izotopi. Cum este posibil acest lucru? Niels Bohr a fost primul care a dat un răspuns, cu ajutorul mărimii *h*. Teoria lui a fost incompletă și nu o voi prezenta aici, deși de-a lungul a doisprezece ani decisivi ea a contribuit enorm la dezvoltarea fizicii. Exprimat în termenii teoriei ondulatorii, răspunsul este, pe scurt, că dimensiunea corespunde undei, în așa fel încît unda să facă exact înconjorul atomului și să se termine acolo de unde a pornit. Dacă toți pereții unei odăi sînt tapetați cu un tapet avînd un anumit desen, va exista de obicei un loc unde joncțiunea nu se poate face în mod perfect. Dar dacă dimensiunile odăii se potrivesc cu dimensiunile desenului, astfel ca să poată fi folosit un număr întreg de fîșii de tapet, atunci toate joncțiunile vor fi perfecte. Ceva similar se întîmplă și atunci cînd undele unui electron fac înconjurul unui atom. În cazul atomului nu trebuie să uităm că lungimea undei va depinde de viteza electronului și că aceasta crește datorită atracției exercitate de sarcina pozitivă a nucleului. Exprimat în termeni matematici, rezultatul este foarte complex chiar în cazul cel mai simplu, acela al hidrogenului, care nu are decît un singur electron; pentru atomii cu adevărat complicați el este practic imposibil de calculat. Dar chiar în acest din urmă caz pot fi efectuate anumite verificări, iar în ce privește hidrogenul, rezultatul este foarte precis. Această teorie prezintă însă o limitare caracteristică. Nu se poate urmări traiectoria electronului ca obiect aflat în mișcare. Dacă încercăm să-i determinăm poziția, principiul lui Heisenberg ne arată că fotonul îl va lovi, de regulă, cu atîta putere încît îl va scoate din atom. Orice încercare de a-i urmări traiectoria este imposibilă. Există însă totuși un oarecare sens în a spune că unii electroni, deși nu toți, se mișcă în jurul nucleului. Ei imprimă întregului atom o rotire ca aceea a unei sfîrleze (așa-

numitul moment de spin) și îi modifică comportamentul în ansamblu.

Să revenim însă acum la consecințele indeterminării, acceptată în ultimele decenii de către marea majoritate a fizicienilor drept **o limitare fundamentală a cunoștințelor noastre. Noutatea nu constă în aceea că experiențele sînt imprecise,** *căci de cînd lumea experiențele au fost imprecise și așa va fi întotdeauna, ci din faptul că* **există o limită a preciziei, limită ce nu poate fi depășită,** *indiferent de grija și de ingeniozitatea noastră. În fizică este curent să se spună* **ce anume nu poate fi făcut** *— de pildă, o mișcare perpetuă. Este însă pentru prima oară cînd se vorbește de* **ceea ce nu poate fi cunoscut.**

De la Newton încoace s-a admis că cel puțin lumea neanimată este determinată, că evenimentele se produc într-o succesiune previzibilă. Mărturia acestui fapt o constituie, în bună măsură, marele succes al astronomilor în prezicerea mișcării planetelor. Ultima nepotrivire — deplasarea periheliului planetei Mercur — a fost înlăturată de teoria relativității generalizate, care reprezintă într-adevăr ultimul cuvînt al fizicii clasice. Mecanica ondulatorie nu se referă, bineînțeles, la planete, acestea avînd o masă atît de mare încît limita teoretică a preciziei nu va putea fi niciodată atinsă, nici chiar în visele celor mai optimiști astronomi. Același lucru este valabil și pentru aparatele de precizie din laboratoare, cum ar fi pendulul care marchează timpul. La nivelul atomilor, lucrurile stau însă cu totul altfel.

Sînt temeiuri să se creadă că ejectarea particulelor alfa din radiu și din alte substanțe radioactive este un efect care ține de mecanica ondulatorie și că el nu s-ar putea produce dacă nu ar exista proprietățile ondulatorii ale particulelor. Dacă, de pildă, un contor Geiger conține în interiorul său o cantitate infimă dintr-o substanță care emite radiații alfa, acul contorului va oscila de fiecare dată cînd este emisă o asemenea particulă. Alegînd în mod judicios cantitatea de substanță, lucrurile se pot aranja în așa fel încît să se producă cîteva ejectări pe minut, fiecare fiind marcată printr-un clinchet ce poate fi auzit. Numărul mediu este mereu același pentru o anumită cantitate de material, dar într-un minut dat numărul

este o chestiune de întîmplare. Dacă media este, să zicem, de 12, acest număr va fi cel ce va reveni de cele mai multe ori, dar vor exista multe minute cînd numărul va fi 9, 10, 11, 13, 14 sau 15 și vor exista și unele minute cînd numărul va diferi în și mai mare măsură de 12. Dacă mecanica ondulatorie este corectă, atunci nu există nici o posibilitate de a stabili dinainte care va fi numărul într-un anumit minut dat.

Cele spuse mai sus nu constituie decît un exemplu al multor genuri diferite de observații care sînt fundamental incerte, cu totul independent de eventualele defecte ce le-ar putea prezenta aparatura. Acest gen de observații implică cazuri individuale, dar cînd există un foarte mare număr de cazuri, **media poate fi prezisă cu o certitudine cu atît mai mare cu cît cazurile sînt mai numeroase.** Din această categorie fac parte și experiențele cu electroni în cristale despre care am vorbit mai sus. Pentru ca modelul să se producă sînt necesari foarte mulți electroni. **Statistica transformă cazuri întîmplătoare în certitudine,** la fel cum tot statistica asigură profiturile proprietarilor cazinoului de la Monte Carlo, cu condiția ca ruleta să funcționeze corect. Multor oameni de știință le repugnă gîndul că natura ar fi un fel de ruletă, dar în ultimii treizeci de ani, în ciuda unui mare număr de încercări, nu a putut fi găsită nici o altă alternativă general acceptabilă.

Mecanica ondulatorie a repurtat multe succese în materie de explicație și predicție. Au mai rămas însă numeroase probleme cărora nu li s-a dat răspuns, în special problema structurii nucleelor, dar și în această chestiune concepțiile bazate pe mecanica ondulatorie au făcut progrese considerabile. **După cît se pare, trebuie să acceptăm principiile ei fundamentale ca juste; în orice caz le putem accepta ca avînd o mult mai mare probabilitate de a fi adevărate decît oricare altele, mai cu seamă decît cele ale vechiului determinism newtonian. Acest lucru are, firește, repercusiuni profunde asupra filozofiei științei și, privind înapoi, ne punem întrebarea dacă vechea credință deterministă a fost într-adevăr atît de justificată, chiar în acele cazuri cînd poate fi neglijată**

existența lui h, de care depinde întregul raționament de mai sus.

Să luăm, de pildă, un gaz aflat într-un vas închis. Teoria cinetică a secolului al XIX-lea (pe care în mare parte am menținut-o) îl prezenta ca fiind constituit dintr-un număr imens de molecule de diferite forme — dar care uneori, pentru simplificare, erau presupuse a fi sferice — gonind la întîmplare în toate direcțiile, ciocnindu-se atît între ele cît și de pereții vasului. Ciocnirile sînt presupuse a fi elastice, așa încît energia cinetică nu se pierde chiar dacă este transferată de la o moleculă la alta. În consecință, în orice moment, unele molecule se vor deplasa rapid și altele lent, dar după alte cîteva ciocniri se pierde orice urmă a fostei stări a mișcării. Fiecare moleculă se ciocnește de miliarde de ori pe secundă. Cu cît gazul este mai cald, cu atît mai mare este viteza medie a moleculelor.

În ce măsură se poate pretinde că determinismul se aplică unui sistem de molecule cum este cel prezentat mai sus? Chiar dacă am găsi o mașină electronică de calcul în stare să calculeze miliardele de ciocniri ale fiecăreia din miliardele de miliarde de molecule (în aerul obișnuit există circa 27 de miliarde de miliarde de molecule într-un centimetru cub), la ce ne-ar ajuta un asemenea calcul? Pentru a circumscrie mai precis întrebarea, să ne gîndim la o experiență imaginară. Să presupunem că într-un contor Geiger există o singură moleculă radioactivă, într-un gaz, și că, mai devreme sau mai tîrziu, ea va exploda dînd naștere unei radiații alfa, capabilă să pună în mișcare contorul. Contorul Geiger va trebui să fie dublu, cele două părți fiind separate printr-o grilă de sîrmă prin care să poată trece moleculele. Experiența are drept scop să arate care jumătate a contorului este pusă în mișcare. Contorul trebuie, bineînțeles, să fie protejat de radiațiile cosmice și de alte perturbări. Presupunem că avem posibilitatea să introducem particula în apropiere de grilă într-un moment cunoscut nouă și că ignorăm mecanica ondulatorie. Pentru a putea spune ce anume se va întîmpla, trebuie să calculăm fiecare ciocnire pe care o suferă particula radioactivă în mișcarea ei în zigzag prin gaz pînă ce

ajunge la un perete la care presupunem că va adera. Putem aranja lucrurile în așa fel încît să fie aproape sigur că va ajunge la unul din pereți și că va sta acolo pînă ce va exploda. Această ipoteză are scopul de a ne face să trecem peste dificultatea că nu știm *cînd anume* va exploda. Determinismul cere ca mai întîi să măsurăm poziția și viteza tuturor moleculelor aflate în apropierea celei radioactive pentru a stabili cu care din ele se va ciocni aceasta din urmă; trebuie să calculăm apoi prima ciocnire și să stabilim direcția și viteza moleculei radioactive în urma ei. Admițînd că un asemenea lucru ar fi de conceput, el nu constituie decît începutul, deoarece calculul va trebui repetat pentru următoarea ciocnire — și așa mai departe. Mai mult, toate celelalte molecule vor avea și alte ciocniri; sînt deci necesare noi calcule pentru a stabili unde au ajuns, deoarece fiecare dintre molecule se poate ciocni cu molecula noastră în timpul drumului ei în zigzag spre peretele vasului.

Lucrarea în care ne-am angajat devine însă complet desperată în momentul cînd încercăm să stabilim gradul de precizie de care avem nevoie. Pentru raționamentul nostru nu are prea mare importanță care anume lege guvernează ciocnirile, așa încît putem presupune că acestea sînt asemănătoare cu ciocnirile dintre niște bile de biliard cu o elasticitate ideală. Există, evident, o mare deosebire între o ciocnire frontală și una piezișă. De aceea o eroare în calculul poziției oricăreia dintre molecule, chiar dacă această eroare nu este mai mare de jumătate din diametrul moleculei, va schimba complet rezultatul. Dar chiar o eroare mult mai mică va afecta substanțial stabilirea unghiului sub care va fi deviată molecula, ceea ce va duce la o și mai mare eroare în stabilirea poziției ei în ciocnirea următoare, căci între două ciocniri ea parcurge un drum egal cu de cîteva mii de ori diametrul ei. La fiecare ciocnire, efectul unei mici erori în presupusa poziție sau viteză a moleculei este amplificat și este evident că, după cîteva milioane de ciocniri — și moleculei îi vor fi necesare mai mult decît atîtea pentru a traversa tubul — concluziile la care vom ajunge cu privire la ciocnirile unei molecule individuale nu vor putea să aibă vreo valoare decît dacă

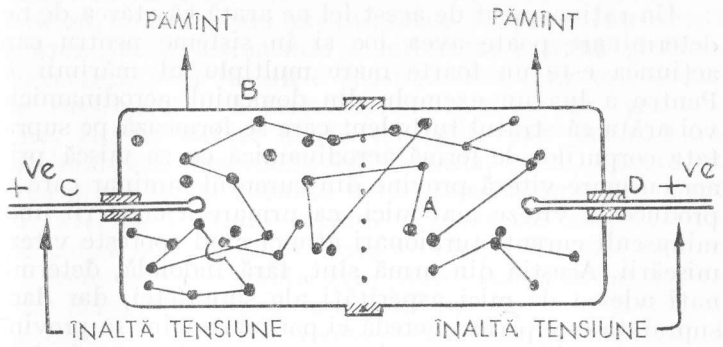


Fig. 20 Experiență imaginară cu un dublu contor Geiger și un atom radioactiv.

Traiectoria atomului radioactiv este indicată cu linii groase, pornind de la *A*. Atomii gazului sînt punctele negre. În realitate, există cîteva miliarde de miliarde de atomi, care se ciocnesc de milioane de ori pe secundă atît între ei cît și, ocazional, cu atomul radioactiv. Dacă într-una din ciocniri ținta este chiar numai cu puțin schimbată, acest fapt modifică complet direcția în care se mișcă atomul după această ciocnire și după toate ciocnirile ulterioare. În cele din urmă, atomul radioactiv ajunge la perete, să zicem în punctul *B*, și rămîne acolo pînă explodează și pune în mișcare contorul Geiger din stînga, producînd o descărcare de la *C* la legătura cu pămîntul

am fi dispus de date de o precizie virtual infinită despre condițiile inițiale.

Vom fi, așadar, nevoiți să revenim la un procedeu statistic oarecare, procedeu care, făcînd media efectelor ciocnirilor individuale, nu ne-ar putea spune decît care este *probabilitatea* ca molecula radioactivă să ajungă în una sau în alta din părțile aparatului.

A afirma că un asemenea sistem este determinat nu pare a avea vreun sens cît de cît util, deși nu am ținut seama de mărimea h *și, de dragul raționamentului, am pornit de la presupunerea că fiecare ciocnire luată în sine ar fi la fel de determinată ca și ciocnirea dintre două bile de biliard. Acest gen de nedeterminare a fost arătat și discutat de Max Born. El nu pare să fi fost observat de către fizicienii precuantici.*

Un raționament de acest fel ne arată că starea de nedeterminare poate avea loc și în sisteme pentru care acțiunea este un foarte mare multiplu al mărimii h. Pentru a lua un exemplu din domeniul aerodinamicii, voi arăta că stratul turbulent care se formează pe suprafața corpurilor de formă aerodinamică ce se mișcă prin aer cu mare viteză provine din curentul laminar care se produce la viteze mai mici, ca urmare a creșterii unor minusculi curenți turbionari atunci cînd sporește viteza mișcării. Aceștia din urmă sînt, fără îndoială, determinați adesea de mici asperități ale suprafeței, dar dacă suprafața este perfect netedă ei pot foarte bine să provină din fluctuațiile ce se produc pe o scară foarte redusă în viteza și densitatea curentului laminar, fluctuații care apar în mod inevitabil datorită unor mișcări întîmplătoare ale moleculelor. Într-un strat devenit instabil, acești minusculi curenți turbionari vor crește ajungînd la mari proporții, dar poziția și forma lor într-un anumit moment vor depinde de condițiile în care au apărut și deci vor fi întîmplătoare. De fapt, ori de cîte ori un sistem devine instabil, ceea ce se întîmplă de obicei atunci cînd capătă prea multă energie, evenimentele la nivel molecular pot crește ca dimensiuni pînă la infinit.

Mecanica ondulatorie intră în acțiune numai atunci cînd cineva ridică obiecția: „dar *în principiu* observațiile ar putea fi făcute cu precizia necesară și s-ar putea prezice totul". Mecanica ondulatorie afirmă că, în principiu, există o limită a preciziei și că în cazuri ca cele schițate mai sus precizia nu poate fi niciodată suficient de bună.

Așadar, evenimente fizice, chiar dintre acelea care au loc pe o scară destul de mare, sînt uneori în mare măsură nedeterminate. Vechea concepție a necesității este limitată la anumite categorii de evenimente. S-ar putea, de pildă, pune foarte bine la îndoială dacă previziunile meteorologice pe termen lung vor deveni vreodată posibile. De exemplu, dacă se va putea spune că în ziua de 1 ianuarie 2060 va fi posibil să se facă patinaj în aer liber la Cambridge.

Mi se pare evident că în cazul cînd acceptăm acest gen de concepții, natura trebuie să ni se înfățișeze foarte

diferit de felul în care i se înfățișează unui adept al lui Newton, tot astfel cum imensul succes al aplicării mecanicii newtoniene la astronomie a influențat profund gîndirea omenească pînă în zilele noastre. Găsesc că este destul de surprinzător că majoritatea filozofilor de profesie, care, firește, cunosc aceste concepții, par înclinați să minimalizeze importanța lor. Aceasta, poate, fiindcă în mod pripit teoria cuantică a fost folosită drept argument în favoarea liberului arbitru. Argumentul ar putea să fie sau să nu fie valabil. Dacă problema liberului arbitru se pretează unei tratări științifice — ceea ce nu mi se pare deloc sigur —, ea nu este în nici un caz o problemă pe care ar putea s-o rezolve fizica. Dar determinismul *este* o asemenea problemă și în această privință, cu surprinzător de puține excepții, fizicienii sînt de acord între ei. S-ar putea să nu avem dreptate. Dar a greși într-o chestiune în care a greșit un Newton ar fi aproape o cinste. Pare însă destul de sigur că greșeala — dacă există vreuna — nu va putea fi depistată decît în cazul unor noi progrese în domeniul fizicii. Va trebui să se afle multe despre modul în care diferitele feluri de materie se comportă în condiții care acum ne apar ca anormale.

Prin determinism înțeleg în acest context capacitatea de a prevedea cu o precizie rezonabilă evenimente ce vor fi, sau nu vor fi, efectiv observate. Lumea ideală a matematicii care a fost aleasă pentru a reprezenta cuantele diferă substanțial, dar nu fundamental de cea inventată de Newton. Ambele prezic ceea ce va fi observat și o prezic prin calcularea precisă a valorilor care trebuie atribuite unor mărimi matematice. Deosebirea constă în semnificația acestor mărimi. Într-o situație tipic newtoniană, ele prezic unde anume se va afla ceva într-un anumit moment al viitorului; într-o situație tipic cuantică, ele ne indică probabilitățile relative ale anumitor evenimente posibile care se vor produce într-un anumit moment sau într-un moment apropiat de el.

Harta fizicii newtoniene și cea a fizicii cuantice (pentru a reveni la comparația noastră anterioară) sînt amîndouă tipărite pe hîrtie și, deși diferite, la o privire fugară par foarte asemănătoare. Deosebirea esențială se manifestă abia atunci cînd vrei să le folosești. Prima se referă la o lume

din rocă dură, unde totul este fix și definitiv. Cea de-a doua se referă la o lume alcătuită din nori și oceane agitate, pulverizate de neîncetate rafale, o lume la fel de reală ca prima, dar fără contururile precise ale acesteia. Numai dacă te afli pe un vapor mare poți ignora mișcarea oceanului.

Chiar dacă natura are propria ei rațiune, există anumite lucruri pe care nu are intenția să ne lase să le cunoaștem anticipat.

Max Planck (1858-1944)

Este una din acele coincidențe spirituale pe care și le îngăduie uneori istoria, ca publicarea celei mai importante idei noi a secolului al douăzecelea să fi avut loc chiar la începutul acestui secol. În decembrie 1900 P l a n c k a prezentat prima formă a teoriei cuantice, inclusiv celebra constantă *h* care îi poartă numele. Nu mai era un om tînăr, căci se născuse în 1855 la Kiel, unde tatăl său era profesor de drept. Ca majoritatea fizicienilor din generația sa, studiase matematica. Dar spre deosebire de mulți alții, el a rămas toată viața un matematician și nu a efectuat experiențe, afară doar dacă vrem să dăm denumirea de experiență faptului că a studiat un mare armoniu, construit pentru a ilustra deosebirea dintre o acordare pură și una temperată. A început prin a lucra în domeniul termodinamicii, o ramură a fizicii care — în ciuda importantelor ei aplicații în industria chimică și în cea a motoarelor termice — poate fi foarte abstractă, lucru ce se potrivea de minune cu seriozitatea lui și cu concepțiile lui filozofice. A făcut descoperiri suficient de importante pentru a-i asigura catedra de fizică teoretică la Universitatea din Berlin. În Reichsanstalt din Berlin — laboratorul național de fizică al Germaniei — se lucra pe vremea aceea intens asupra radiațiilor emise de corpurile fierbinți. S-ar putea să nu fi fost o chestiune chiar atît de fundamentală. Radiația depinde în general de natura corpului. Cercetînd însă radiațiile din *interiorul* corpului fierbinte, predecesorul lui Planck, profesorul Kirchhoff, dovedise că

din punctul de vedere al termodinamicii — fapt verificat ulterior pe cale experimentală — aceste radiații sînt complet independente de natura chimică sau de starea fizică a corpului. Dacă ne uităm la un foc de cărbuni strălucitor și privim printre spațiile existente între diferitele bucăți de cărbune vom observa că marginile acestora nu sînt foarte distincte Într-o experiență mai subtilă, în care postul de observație este redus la un mic orificiu, radiația care emană din oricare parte a peretelui este nediferențiată. Radiația care iese prin gaură este cunoscută sub denumirea de „radiație completă" sau uneori sub aceea de „radiația corpului negru". Dat fiind că nu depinde de substanța sau de substanțele folosite, ci exclusiv de temperatură, ea este evident ceva fundamental. Pe măsură ce cavitatea devine mai fierbinte, radiația crește în cantitate, iar din punct de vedere calitativ ea își schimbă culoarea dintr-un roșu închis conținînd în cea mai mare parte radiații invizibile, într-un alb orbitor, care, atunci cînd este trecut printr-o prismă, are — întocmai ca lumina solară — un spectru complet, inclusiv violetul.

Cum anume variază intensitatea luminii unui corp în funcție de culoarea luminii, adică de lungimea undei luminoase și de temperatura cavității? Înainte de Planck au fost propuse două formule — una de către Wien și cealaltă de către Rayleigh — , fiecare din ele avînd un oarecare temei teoretic. Prima dădea rezultate destul de bune în cazul unei unde lungi, adică a luminii roșii, iar cea de-a doua — în cazul luminii din domeniile albastru și ultraviolet. Primul lucru pe care l-a făcut Planck a fost acela de a inventa o formulă matematică care combina cele două formule. El a găsit o formulă care se potrivea la experiențele efectuate cu toate culorile. La început formula avea o bază teoretică slabă, deși era inspirată din formulele matematice anterioare, dar după scurt timp Planck i-a dat baza teoretică necesară. El a demonstrat că formula sa poate fi dedusă din legile existente ale electricității (pe vremea aceea teoria electromagnetică elaborată de Maxwell era întru totul acceptată), dar **numai în ipoteza că lumina este emisă și absor-**

bită nu în mod continuu cum era firesc să se creadă, ci în porții discrete de energie, în „cuante". Mărimea cuantelor trebuie presupusă a fi proporțională cu frecvența luminii, deci mai mare pentru albastru decît pentru roșu. Constanța din această proporție a desemnat-o prin simbolul h.

Au trecut destul de mulți ani pînă cînd oamenii și-au dat seama de marea importanță a descoperirii lui Planck. **Ea înseamnă înlocuirea continuității prin discontinuitate într-o lege fundamentală a fizicii.** Oamenii manifestau mult interes pentru noua formulă, care, cert, era în concordanță cu faptele, dar nu se împăcau cu felul în care se ajunsese la ea. Majoritatea erau de părere că se va găsi o cale spre a se ajunge la ceea ce este probabil formula corectă fără a trebui să se recurgă la ipoteze atît de drastice și de revoluționare. Planck nu spusese nimic despre starea radiațiilor în spațiul cosmic. Nu se ajunsese încă la presupunerea, contrară părerii lui Maxwell, că ele ar fi discontinue (discrete). În 1905, Einstein — care se afla și el la Berlin și era bun prieten cu Planck — a făcut un pas mai departe, emițînd ipoteza că **chiar și în spațiul cosmic radiația se propagă în cuante**, iar formula $E = h\nu$ a devenit pentru prima dată o formulă familiară pe tablele negre din laboratoarele de fizică. Acest pas a contribuit în mare măsură la răspîndirea teoriei, în special în rîndul fizicienilor de laborator. Dispăruse acum acel aspect neobișnuit și abstract al termodinamicii teoretice care îi lăsase pe unii nedumeriți, chiar dacă era o nedumerire pătrunsă de respect. Noua teorie a explicat unele fapte foarte stranii, legate de radiațiile Roentgen și de lumina ultravioletă, fapte care au început să dea multă bătaie de cap fizicienilor (p. 161). Apoi, în 1913, Niels Bohr a publicat teoria sa cu privire la atomul de hidrogen, teorie care folosea pentru prima dată concepțiile lui Planck în marea problemă a structurii atomului. A urmat apoi dezvoltarea schițată în capitolul precedent, dar Planck nu a mai participat la această dezvoltare.

Planck a fost înainte de toate un teoretician și toată viața a manifestat un profund interes pentru aspectul filozofic al fizicii. Credea aproape cu pasiune în realitatea lumii exterioare și era un adversar al concepției pozitiviste, pe atunci foarte la modă, a lui Mach și Oswald, concepție care, limitînd excesiv de mult fizica la ceea ce poate fi observat în mod nemijlocit, sugruma orice imaginație. Dar el nu a fost un creator de modele ca J.J. Thomson sau Rutherford. El a adoptat o atitudine extrem de precaută față de consecințele filozofice ale propriilor sale lucrări și credea cu toată fermitatea în cauzalitate[1], deși a dat acestui termen o interpretare sui generis. Nutrea o deosebită predilecție pentru rațiunea pură, iar autobiografia și-a început-o cu următoarele cuvinte:

„Hotărîrea mea inițială de a mă consacra științei a fost rezultatul direct al unei descoperiri care încă din prima mea tinerețe nu a încetat niciodată să mă umple de entuziasm. Este vorba de faptul, nici pe departe evident, că logica umană coincide cu legile care guvernează succesiunile de impresii pe care le primim din lumea înconjurătoare și deci că raționamentul pur ne permite să obținem cunoștințe despre mecanismul acestei lumi. În legătură cu aceasta are o importanță excepțională faptul că lumea exterioară există independent de om, că ea este ceva absolut, iar căutarea legilor care se aplică acestui absolut mi s-a părut a fi cea mai sublimă îndeletnicire științifică din cîte există pe lume".

În primii ani, recunoașterea de către ceilalți fizicieni a concepțiilor sale din domeniul termodinamicii s-a produs foarte lent, lucru pe care el pare să-l fi resimțit. Era un german de cea mai bună speță, integru, scrupulos, demn, în aparență destul de rigid, dar în anumite împrejurări era în stare să devină surprinzător de afectos și cu adevărat fermecător. „Arian" sută la sută și patriot înflăcărat, el s-a împotrivit modului în care erau tratați evreii și — cu ocazia unei vizite oficiale — i-a cerut lui Hitler un tratament mai bun pentru unii dintre ei. Hitler s-a înfuriat, iar Planck a trebuit să plece.

În viața sa de familie a avut mult de suferit. A pierdut un fiu în primul război mondial și două din fiicele

[1] Este vorba de cauzalitatea absolută în cadrul determinismului mecanicist *(N.T.)*.

sale au murit în timpul unor nașteri. Ultimul său fiu a fost executat, împreună cu atîția alții dintre cei mai buni fii ai Germaniei, după complotul eșuat din iulie 1944 împotriva lui Hitler.

În ce privește convingerile lui religioase, el și-a exprimat o dată în public neclintita sa credință într-o zeitate binefăcătoare. S-a întîmplat ca atît lui Planck cît și lui Einstein să li se confere în același timp un titlu universitar onorific la Cambridge. Ar fi greu de conceput doi oameni mai puțin asemănători. Einstein, atît de uluitor cu claia de păr cărunt care-i înconjura ca o aureolă fața bronzată, dădea impresia că te afli în fața unui geniu sau a unui vizionar. Planck, în schimb, avea o înfățișare perfect normală, cu excepția, poate, a unui oarecare aer de noblețe. Avea o demnitate calmă și făcea impresia unui om înzestrat cu un caracter frumos și robust. În 1931 a venit din nou la Cambridge și în timpul ambelor vizite a locuit împreună cu soția sa la J.J. Thomson, în apartamentul acestuia de la Trinity College. J.J. admira mult opera lui Planck, care corespundea în mai mare măsură modului său de a gîndi decît lucrările lui Einstein. Îi plăcea să se afle în societatea lui Planck, care — din fericire pentru J.J. — vorbea bine engleza, ca de altfel și cea de a doua soție a sa, o femeie blîndă, plină de simț practic și care se îngrijea cu dragoste de distinsul ei soț.

În unele privințe, personalitatea lui Planck și a lui J.J. erau destul de asemănătoare. Amîndoi erau modești și lipsiți de orice înfumurare, manifestînd o atitudine prietenoasă față de oameni în general și avînd o largă sferă de interese în afara științei.

Deși o bună parte din lucrările lor erau de natură abstractă, amîndoi erau foarte realiști în concepțiile lor referitoare la evenimentele curente. În afară de știință, Planck avea două pasiuni — muzica și alpinismul. Einstein era și el muzician, iar în timpul cît a trăit în Germania, el și cu Planck cîntau deseori împreună — Einstein la vioară și Planck la pian.

Planck a continuat să fie un alpinist activ pînă la o vîrstă înaintată și marea lui dragoste pentru munți și

pentru vastele întinderi ale șesului a constituit una din trăsăturile caracteristice ale personalității sale.

Pentru a arăta cît era de viguros chiar la bătrînețe și cît era de politicos, voi cita ca exemplu doar faptul că a ținut s-o conducă pe fiica lui J.J. Thomson, care se afla în trecere prin Berlin, seara tîrziu la gară și aceasta cu toate că era în vîrstă de aproape optzeci de ani și că a doua zi, dis-de-dimineață, urma să plece la țară, unde avea să petreacă o singură zi.

Este foarte potrivit că Max Planck-Gesellschaft—cea mai importantă instituție științifică din Germania postbelică a luat numele acestui om — un mare fizician și o personalitate ieșită din comun.

C. J. Davisson (1881—1958)

Cariera lui Davisson prezintă interes nu numai pentru că a făcut descoperiri de seamă, ci și pentru că ea este unul din primele exemple care au dovedit că lucrări de cea mai mare importanță în domeniul științei pure pot fi efectuate în laboratoarele unei industrii. De fapt, în 1917, cînd a acceptat un post — după cum credea el, pe scurt timp, numai pe durata războiului — în laboratoarele actualei firme Bell Telephone, care pe atunci făcea parte din concernul Western Electric Company, Davisson era deja un om de treizeci și șase de ani, cu o excelentă reputație în materie de fizică a ionilor și electronilor. A rămas la Bell Telephone pînă în 1946, cînd s-a retras, stabilindu-se la Charlottesville, unde a deținut pînă la moartea sa — survenită în 1958 — funcția de profesor de cercetare la Universitatea din Virginia.

Cea mai importantă lucrare a sa a constituit-o prima demonstrare experimentală directă a faptului că electronii se pot comporta ca unde. Pentru a ajunge la aceasta, el a imitat ceea ce se întîmplă cînd lumina este reflectată de o suprafață solidă pe care sînt gravate linii paralele foarte apropiate unele de celelalte sau cînd trece printr-o placă de sticlă avînd și ea gravate asemenea linii. Amîndouă aceste dispozitive au același efect, și anume lumina

este descompusă de către o asemenea „rețea" în culorile ei componente, de parcă ar fi trecut printr-o prismă. În cazul electronilor, „culorile" sînt înlocuite prin viteze. Davisson a folosit o „rețea" complexă, constînd din șiruri încrucișate de atomi pe suprafața expusă a unui cristal de nichel. În optică, suprafața liniată poartă denumirea de „rețea de difracție", iar experiențele efectuate de Davisson sînt denumite „difracția cu electroni".

Pentru cel ce studiază metodele științifice este interesant că inițial descoperirea lui Davisson nu s-a datorat dorinței sale de a verifica o teorie. În această privință, experiențele lui se deosebeau de ale mele, care au fost inspirate de ideile ducelui L. de Broglie. Pe Davisson îl interesa — încă înainte de apariția teoriei lui de Broglie — comportarea electronilor împrăștiați; experiențele sale au dus la rezultate surprinzătoare, iar teoria a fost chemată să le explice.

După terminarea războiului, Davisson a început să lucreze într-un domeniu mai fundamental al fizicii, și anume în domeniul ventilelor termoionice, pe care le studiase în timpul războiului. Se bucura de o mare libertate în alegerea temelor de cercetare, ceea ce constituia un omagiu adus aptitudinilor sale cu totul ieșite din comun. Dintr-una într-alta, în 1921 a ajuns să lucreze la problema așa-numiților „electroni secundari", care apar atunci cînd electronii lovesc o suprafață solidă. Era un domeniu în care, deși se efectuaseră numeroase lucrări, nu se obținuseră rezultate satisfăcătoare. Se iveau multe dificultăți provocate de faptul că efectele depind în mare măsură de starea suprafeței, respectiv de faptul dacă aceasta este într-adevăr curată (aceasta se întîmplă doar rareori, dat fiind că straturile de gaz care aderă la suprafață sînt foarte greu de înlăturat chiar într-un vid avansat) sau, dacă este impură, în ce anume constă impuritatea. Ajutat de Kunsman, Davisson — care lucra cu nichel în condiții de vid neobișnuit de bune — a constatat că numeroși electroni secundari se desprind de suprafață în cîteva direcții clar pronunțate, cărora le-a dat denumirea de vîrfuri. Au încercat să explice aceste vîrfuri, dar explicațiile nu erau foarte convingătoare.

În 1925, după ce a studiat și alte metale, Davisson a revenit la nichel. Pînă atunci folosise pentru experiențele sale nichel obișnuit, care este compus dintr-un număr mare de cristale foarte mici; dar în urma unui defect al supapei de aer lichid, nichelul s-a oxidat, și cînd suprafața s-a restabilit prin încălzire, nichelul s-a transformat într-un conglomerat de numai cîteva cristale mari. Modelul împrăștierii s-a schimbat complet, dar vîrfurile au fost și mai pronunțate. Vechile teorii au trebuit să fie abandonate și a fost propusă una nouă, bazată pe ideea unor „direcții transparente" în cristal. Dar nici această din urmă teorie nu a avut o viață lungă. În parte, ca urmare a participării la o adunare a lui British Association, ținută la Oxford, Davisson a ajuns la convingerea că rezultatul obținut de el are o legătură cu noua teorie a lui de Broglie. Perfecționînd tehnica experienței și lucrînd cu o țintă în care un singur cristal ocupa întreaga suprafață, el și colaboratorul său Germer au obținut în ianuarie 1927 rezultate care, în lumina teoriei lui de Broglie, aveau un sens. Este vorba de o chestiune foarte complicată, căci, deși efectul stratului superficial de atomi este predominant, următoarele trei sau patru straturi determină diferențe apreciabile care pe vremea aceea nu puteau fi calculate cu precizie. În consecință, unele din rezultatele obținute erau destul de greu de interpretat, dar marea lor majoritate se aflau într-o concordanță izbitoare cu teoria lui de Broglie și au fost acceptate drept dovadă a acestei teorii.

A fost într-adevăr un triumf al măiestriei în materie de experiment. Electronii relativ lenți (cu o energie de circa 150 de volți) pe care îi foloseau Davisson și Germer sînt foarte greu de mînuit. Pentru ca rezultatele să aibă o valoare, vidul trebuie să fie excepțional de bun. Experiența ar prezenta multe greutăți chiar și astăzi, cînd tehnica vidului a făcut progrese imense. Pentru vremea aceea, ea a constituit un adevărat triumf. O dovadă a măiestriei cu care Davisson și-a efectuat experiențele este faptul că, în afară de dînsul, numai doi sau trei alți cercetători au putut folosi cu succes în acest scop electroni lenți, cu toate că relativ recent Germer a introdus în tehnica experimentului o perfecționare

mulțumită căreia poate fi efectuat mult mai ușor. Spre deosebire de metoda lui Davisson, metoda folosită de mine — cu elecroni rapizi (30 000 de volți sau mai mult) — are numeroase aplicații, deoarece este relativ simplă.

Davisson era înzestrat cu unele însușiri deseori întîlnite la oamenii de știință, printre care și timiditatea, dar era departe de a fi un „tip". Era un om care exercita o extraordinară forță de atracție. Nu am întîlnit niciodată pe cineva care să nu-l fi iubit; asemenea oameni nu există. Dar la prima vedere nu făcea o impresie prea puternică. Era scund și avea un fel șovăitor de a vorbi, ceea ce-l făcea să pară și mai timid decît era. În laboratorul său avea însă reputația de a fi foarte ușor accesibil și ajuta cu dragă inimă pe numeroasele persoane care îl consultau. Cu toate că a lucrat vreme atît de îndelungată în laboratoare industriale, era prin natura sa un individualist; nu lucra decît cu cel mult unul sau doi inși și multe din lucrări le efectua cu propriile sale mîini. Dar influența exercitată de el era foarte mare și mulți dintre fizicienii de frunte ai Americii de azi au resimțit această influență. Avea un încîntător simț al umorului și, în felul său liniștit, era plin de un haz uneori cu totul neașteptat.

10
Unele concluzii

Nădăjduiesc că din cele expuse a devenit clar că cercetarea, cel puțin în domeniul fizicii, este în mare măsură o chestiune de noroc sau de ghinion. Marea forță a științei constă în faptul că „norocul" are un răsunet ce se face auzit pînă departe sau, pentru a folosi o altă metaforă, succesul deschide o ușă prin care poți trece într-o altă cameră a cărei existență nimeni nu o bănuise. O descoperire, indiferent dacă a fost făcută pe cale experimentală sau teoretică, sugerează noi experiențe, adesea noi tehnici. Acestea sînt aplicate în alte ramuri ale științei, precum și în industrie, așa încît, după cîțiva ani, ceea ce nu fusese decît un efect anevoios și delicat care funcționa numai după o trudă asiduă și competentă, rămînînd totuși ceva destul de precar, se întrupează într-un aparat folosit de gospodine. Sînt plin de admirație pentru priceperea inginerilor de a transforma experiențele din fizică în ceva la îndemîna oricui. Televizorul este un miracol, nu atît fiindcă ceva de acest fel poate funcționa în decurs de cîteva minute după o muncă de săptămîni depusă de către cei ce l-au proiectat,

cît pentru faptul că poate funcționa perfect cu un minimum de întreținere. Iată, în sfîrșit, un exemplu al unității naturii!

Legătura aceasta dintre descoperirea științifică și viața de toate zilele mi se pare un lucru foarte important nu numai pentru omul de pe stradă, dar și pentru omul de știință. Indiferent cum este apreciată influența socială a televiziunii, nimeni nu se poate îndoi că ea există, iar ceea ce este adevărat pentru televiziune este adevărat și pentru zeci de alte lucruri.

Nicicînd în trecut știința nu a avut o legătură atît de strînsă cu viața de toate zilele, încît să devină parte integrantă a bunului simț. Indiferent de părerile pe care le-ați avea despre lume, ele trebuie să fie compatibile cu televiziunea și cu toate celelalte. **Aceasta înseamnă că, într-un anumit sens, concepțiile noastre sînt corecte, ceea ce nu vrea să spună că sînt unicele posibile.** Același lucru — sau aproape același lucru — ar putea fi spus în diferite feluri, aparent foarte deosebite unele ce celelalte. În istoria fizicii se cunosc exemple de acest fel. Dar actualul ansamblu de concepții este valabil pentru o arie foarte largă. Acest ansamblu este destul de simplu și **chiar dacă conceptele pe care se bazează se dovedesc a corespunde realității numai pe o arie limitată, ele vor fi probabil menținute și dincolo de această arie,** după cum ne-o arată precedentul existent în privința razei de lumină. Actuala teorie a electronului este, cert, incompletă. Există lucruri pe care această teorie nu le poate prezice. Nu se poate spune ce formă vor îmbrăca modificările necesare. S-ar putea să fie sau să nu fie modificări fundamentale. Dar chiar dacă vor fi tot atît de fundamentale pe cît de fundamentală este deosebirea dintre timpul newtonian și timpul einsteinian, părerea mea este că ele nu vor modifica practica electronicii (sau manualele corespunzătoare) mai mult decît a modificat Einstein tipurile de ceasornice.

Piramida fizicii se înalță pe baza sigură și vastă a explicării cu succes a unor largi arii de fapte cu ajutorul conceptelor. Unele din aceste concepte se dovedesc a fi, la rîndul lor, doar cazuri particulare, de obicei numai aproximativ valabile, ale altor concepte, mai fundamentale. Acestea din urmă sînt întotdeauna deschise întrebărilor și schimbărilor, ceea ce face ca fizica să fie atît de pasionantă și de interesantă.

N-ar fi exclus să vină ziua cînd toate actualele concepte să fie considerate drept cazuri particulare ale unui principiu atotcuprinzător, dar, în ce mă privește, mă îndoiesc că o asemenea zi va veni. Și astăzi mai sînt valabile cuvintele scrise de tatăl meu în urmă cu circa treizeci de ani:

„O mare descoperire nu reprezintă un punct final, ea este un drum care duce spre regiuni pînă atunci necunoscute. Ne cățărăm pe piscul unui munte pentru a constata că de acolo ni se revelează un alt pisc, mult mai înalt decît tot ce văzusem pînă atunci — și în felul acesta ne înălțăm din pisc în pisc, la nesfîrșit. Ceea ce o generație a adăugat cunoștințelor noastre de fizică nu devine mai puțin important, mai puțin fundamental sau mai puțin revoluționar atunci cînd locul ei îl ia o nouă generație. Suma cunoașterii noastre nu seamănă cu ceea ce matematicienii denumesc «serie convergentă»... unde din studiul cîtorva termeni se pot deduce proprietățile generale ale întregului. Fizica corespunde mai degrabă celuilalt tip de serii, denumite «divergente», unde termenii ce se adaugă unul după altul nu devin tot mai mici și unde nu avem nici o garanție că concluziile pe care le tragem din puținii termeni cunoscuți vor fi aceleași la care am ajunge dacă am dispune de mai multe cunoștințe".

Glosar

Atom. Cea mai mică parte dintr-un element, care păstrează proprietăţile chimice specifice ale acestuia.

Barioni. Un grup de particule subatomice, dintre care cele mai uşoare sînt protonii şi neutronii, restul fiind particule nestabile, produse în atmosferă de radiaţiile cosmice de mare energie.

Bobină de inducţie. Un dispozitiv, în prezent aproape desuet, pentru producerea unui curent alternativ de înaltă tensiune dintr-un curent primar de joasă tensiune.

Calcul tensorial. Sistem matematic folosit în teoria generală a relativităţii.

Camera Wilson (cu ceaţă). Aparat creat de C.T.R. Wilson; cu ajutorul lui se vizualizează drumul parcurs de o particulă rapidă care se mişcă în aer. În acest scop se condensează umezeala pe atomii sau moleculele cu sarcină electrică ce se produc în aerul camerei de către particula rapidă.

Catod. Vezi *Electrod*.

Chimie organică. Chimia compuşilor care conţin carbon şi sînt adesea — dar nu întotdeauna — legaţi de materia vie.

Cîmp *(electric, magnetic, gravitaţional)*. O regiune a spaţiului în care poate fi detectat efectul respectiv. În fiecare punct al acestei regiuni există o direcţie în care se exercită efec-

tul; de pildă, vertical în jos în cazul cîmpului gravitațional al Pămîntului.

Condensator (de abur). Un vas în care aburul evacuat dintr-un motor este răcit și transformat din nou în apă.

Condensator (electric). Dispozitiv pentru înmagazinarea unei considerabile sarcini electrice la un potențial (tensiune) moderat. Adeseori este alcătuit din foi subțiri de metal, între care sînt intercalate foi dintr-un material izolant.

Cristal. Corp solid în care atomii sînt așezați în grupuri ce se repetă regulat în întregul cristal, oarecum ca desenul unui tapet.

Depozit activ. Cînd un gaz radioactiv, ca de pildă radiul, se află în apropierea unei suprafețe solide, unii dintre atomii rezultați din radioactivitate ating suprafața și rămîn acolo. Acești atomi sînt ei înșiși adesea radioactivi și constituie un „depozit activ".

Efect fotoelectric. Cînd lumina ultravioletă, inclusiv radiațiile Roentgen, cade asupra anumitor substanțe, acestea emit instantaneu electroni.

Electrod, catod, anod. Electrozii sînt conductori metalici prin care un curent electric pătrunde într-un lichid sau gaz, sau iese din ele. Catodul este electrodul negativ, iar anodul — cel pozitiv. Un curent denumit în mod convențional „pozitiv" curge — într-un lichid sau gaz — de la anod la catod. Dat fiind că electronii sînt negativi, orice parte a curentului transportat de ei se datorează unor electroni care se mișcă de la catod la anod.

Electroliză. Cînd un curent electric trece printr-un lichid care din punct de vedere chimic nu este metalic, are loc o descompunere a lichidului, iar produsele rezultate sînt degajate la electrozi.

Electron. Cea mai ușoară dintre particulele elementare care posedă o masă de repaus. Are comportarea mixtă caracteristică „particulelor" cuantice, adică se comportă cînd ca un corpuscul obișnuit, cînd ca o undă. În mod normal, electronii au sarcini negative, dar pentru scurt timp pot exista și electroni pozitivi.

Emanație. Gaz emis de anumite substanțe radioactive, printre care radiul. Emanațiile sînt ele însele radioactive, iar atunci cînd ajung pe o suprafață determină pe aceasta o contaminare radioactivă.

Energie. Una dintre cele mai fundamentale mărimi din fizică. Ea poate îmbrăca numeroase forme (energie cinetică, gravitațională, calorică, electromagnetică etc.) și poate fi transferată de la un corp la altul, dar într-o regiune izolată cantitatea de energie este constantă. Einstein a demonstrat că masa este ea însăși o formă de energie. Energia nucleară provine din masele nucleelor respective.

Energie cinetică. Energia datorată mișcării.

Eterul. Un mediu atotpătrunzător, presupus odinioară a transmite undele luminoase.

Forță. Ceea ce modifică sau tinde să modifice starea de repaus sau de mișcare uniformă a unui corp.

Fotoni. Lumina se comportă uneori ca un șuvoi de particule discrete. Acestea din urmă sînt denumite fotoni. Ca și electronii, fotonii sînt particule în sensul teoriei cuantelor, adică îmbină proprietățile particulelor obișnuite cu proprietățile undelor.

Franje de interferență. Benzi de lumină, alternativ luminoase și întunecate, putînd fi drepte sau curbe. Ele se produc atunci cînd două fascicule de lumină provenite inițial din aceeași sursă se suprapun.

Frecvență. Numărul care arată de cîte ori pe secundă se produce o mișcare sau un alt eveniment care se repetă la intervale regulate.

Gravitație. Potrivit teoriei lui Newton, ea este forța de atracție mutuală care există între toate corpurile din univers, considerate cîte două. Această noțiune este folosită de asemenea în orice altă teorie care explică efectele de tipul celor de care se ocupă teoria lui Newton.

Greutate atomică. Greutatea atomului exprimată în unități astfel alese încît cel mai răspîndit izotop al carbonului să aibă exact greutatea atomică 12. (Pînă de curînd etalonul a fost oxigenul, considerat drept 16; deosebirea este foarte mică.) Greutatea atomică chimică a unui element este greutatea medie a izotopilor elementului respectiv, în amestecul normal existent în natură.

Heliu. Gaz ușor, prezent în anumite minerale. Din punct de vedere chimic este inert.

Impuls. Impulsul unui corp în mișcare este produsul dintre masa și viteza lui.

Inerție. Altă denumire pentru masă (vezi *Masă*).

Ion. Particulă încărcată, care prin mișcarea ei transportă un curent. Ionii sînt adesea de dimensiuni atomice.

Ipoteza lui Prout. Prout a fost de părere că toți atomii constau din hidrogen și că greutățile lor reprezintă exact un multiplu al greutății atomului de hidrogen.

Izotop. O subspecie a atomului. Atomii unui element au toți aceeași sarcină pe nucleu, dar greutatea lor poate varia cu un multiplu al unității de greutate atomică. Despre

toți atomii care au aceeași greutate se spune că aparțin aceluiași izotop.

Leptoni. O categorie de particule elementare dintre care cele mai cunoscute sînt electronii. Alți leptoni sînt neutrinii și mezonii. Toți sînt mult mai ușori decît protonii sau orice alte particule din categoria barionilor.

Lucru mecanic. În fizică și tehnică acest cuvînt este folosit într-un sens special, și anume pentru a desemna produsul dintre o forță și distanța la care se află punctul ei de aplicație. În acest sens avem de-a face cu lucru mecanic atunci cînd un om ridică o greutate, dar nu și cînd ține greutatea deasupra capului sau o duce pe o stradă orizontală.

Lungime de undă. Distanța la care o mișcare ondulatorie se repetă. În cazul undelor apei (valuri) ea este egală cu distanța dintre crestele sau picioarele valurilor.

Masă. Proprietatea care are drept efect că există o oarecare dificultate de a pune un corp în mișcare sau, dacă este în mișcare, de a-l opri.

Masă de repaus. Masa pe care o are un obiect în stare de repaus sau aflat într-o mișcare lentă. Cînd un obiect se deplasează cu o viteză comparabilă cu a luminii, masa lui devine mai mare decît masa lui de repaus.

Mezoni. Particule nestabile descoperite în radiațiile cosmice. Din punctul de vedere al masei, ei se situează între electroni și protoni. În prezent pot fi produși în acceleratorii de particule — ca de pildă în cel de la Brookhaven din S.U.A. și în Laboratorul internațional C.E.R.N. de lîngă Geneva.

Moleculă. Un grup de atomi a căror coeziune se datorează unor forțe chimice.

Neutrino. Particulă avînd masa de repaus zero și fără sarcină electrică. Este emisă împreună cu particulele beta și cu prilejul altor transformări nucleare. La început, existența ei a fost postulată din motive teoretice, dar relativ recent au fost detectate, în apropierea unui reactor nuclear, efecte datorate neutrinilor.

Neutron. Particulă neutră avînd masa cu puțin mai mare decît protonul. Se crede că există în stare stabilă în majoritatea nucleelor. Neutronii liberi — care sînt materialul cu care se lucrează în reactoarele nucleare — se transformă fiecare, în circa cincisprezece minute, în cîte un proton și un electron.

Nucleu. Miezul mic, dar avînd o masă mare, al atomului. A fost descoperit de Rutherford. Are o sarcină electrică pozitivă.

Număr atomic. Cînd elementele sînt așezate în ordinea crescîndă a greutății lor atomice (cu cîteva excepții), poziția pe care un element o ocupă în această ordine este denumită numărul lui atomic. Astfel, primul element — hidrogenul — are numărul atomic 1, iar ultimul dintre elementele care există în natură, uraniul, are numărul 92. Moseley a arătat că numărul atomic este egal cu sarcina electrică a nucleului în unități electronice.

Particulă. Corp foarte mic. După cum s-a dovedit, particulele extrem de mici se comportă într-un mod cu totul diferit de ceea ce cunoaștem din experiența noastră de fiece zi.

Pol magnetic. Regiunea unui magnet unde este concentrată atracția. O definiție mai exactă ar putea fi dată în termeni matematici, dar este îndoielnic că acest concept e într-adevăr fundamental.

Principiul relativității.

Relativitatea restrînsă afirmă că legile fundamentale trebuie să îmbrace o formă matematică, identică pentru toate sistemele de referință care se mișcă unele în raport cu celelalte cu o viteză liniară constantă.

Relativitatea generalizată afirmă că legile fundamentale trebuie să îmbrace o formă matematică identică pentru toate sistemele de referință, oricare ar fi ele.

Proteină. Categorie de substanțe organice complexe conținînd catene lungi de atomi de carbon și azot. Se cunosc proteine care conțin 10 000 de atomi per moleculă.

Proton. Una din particulele cele mai fundamentale ale fizicii. Protonii pot fi obținuți cu ușurință prin ionizarea atomilor de hidrogen, adică îndepărtînd din acest gen de atomi singurul electron pe care îl conțin, restul fiind un proton. Alte nuclee sînt considerate a fi alcătuite din protoni și neutroni. Protonul are o sarcină electrică pozitivă.

Radiație. Strict vorbind, este orice efect care se propagă de la o sursă în linie aproximativ dreaptă. Ea include așadar radiațiile alfa, radiațiile catodice și altele. Uneori această denumire este dată numai acelor radiații care, ca și lumina, sînt de natură electromagnetică și se propagă cu o viteză constantă — cu viteza luminii. Asemenea radiații sînt, printre altele, radiațiile infraroșii, cele ultraviolete, radiațiile Roentgen și gamma.

Radioactivitate. Proprietate a anumitor nuclee nestabile, dintre care unele există în natură, iar altele sînt produse pe cale artificială. Nucleul radioactiv se descompune în mod spontan, emițînd o radiație alfa sau beta, adesea însoțită de radiații gamma.

Randamentul unei mașini. În cazul unui dispozitiv mecanic, cum ar fi un vinci cu șurub, randamentul este egal cu lucrul mecanic util efectuat, împărțit la lucrul necesar pentru a acționa dispozitivul. În cazul motorului termic, randamentul este egal cu lucrul util efectuat, împărțit la lucrul echivalent cu căldura introdusă.

Radiații alfa. Cele mai puțin penetrante dintre cele trei feluri de radiații—alfa, beta, gamma — produse de substanțele cu radioactivitate naturală. Cu toate că nu pătrund decît pînă la cîțiva centimetri în aerul de densitate normală, ele sînt greu de deviat prin cîmpuri electrice sau magnetice. Radiațiile alfa sînt identice cu nucleele atomilor de heliu cînd acestea se deplasează cu mare viteză.

Radiații beta. Electroni rapizi emiși de anumiți atomi radioactivi, naturali sau artificiali, cînd nucleele lor se transformă.

Radiații catodice. Electroni emiși de un pol negativ, respectiv de un catod, atunci cînd o descărcare electrică trece printr-un gaz cu densitate adecvată, de obicei a mia parte din cea a atmosferei, sau chiar mai mică.

Radiații gamma. Cele mai penetrante radiații emise de o substanță radioactivă. Prin natura lor sînt identice cu radiațiile Roentgen, dar de cele mai multe ori sînt produse în nucleele atomilor.

Radiații pozitive. Cînd curentul electric trece printr-un gaz cu densitate foarte mică, se observă uneori radiații care se îndreaptă *spre* catod. Pentru a le putea observa se face un orificiu în catod sau, și mai bine, se trece prin catod un tub, radiațiile amintite fiind observabile la ieșirea lor din tub. Cea mai mare parte din ele sînt atomi sau molecule care au pierdut unul sau mai mulți electroni și deci au o sarcină pozitivă.

Radiații Roentgen sau **radiații X.** Radiație electromagnetică, asemănătoare luminii obișnuite, cu deosebirea că lungimea ei de undă este de aproximativ o mie de ori mai mică.

Raze de lumină. Un fascicul subțire de lumină, putînd fi considerat — cu oarecare aproximație — drept o linie matematică.

Relativitate. Vezi *Principiul relativității.*

Rețea de difracție. Dispozitiv folosit pentru a descompune lumina în culorile ei componente, funcționînd așadar ca o prismă. Cea mai simplă rețea de difracție poate fi realizată dintr-o placă de sticlă pe care, pe una din părți, sînt trasate, la distanțe riguros egale, linii paralele. Este uzual un număr de 10 000 de linii per țol.

Sarcină electrică. Se spune că obiectele au o sarcină electrică atunci cînd exercită, unele asupra celorlalte, forțe ce pot fi descrise cu ajutorul legilor electricității. Una dintre aceste legi arată că, atunci cînd obiectele sînt mici, forțele variază invers cu pătratul distanței dintre ele. Sarcinile sînt de două feluri; sarcinile de același semn se resping, cele de semne diferite se atrag. Primul tip de sarcini este denumit pozitiv, celălalt — negativ. Sarcini pozitive și negative egale se neutralizează reciproc. Desemnarea unuia din cele două tipuri de sarcină ca „pozitiv" este o convenție arbitrară (datorată lui Benjamin Franklin). Electronii sînt negativi și protonii pozitivi. Un număr egal de electroni și protoni produc materie neutră normală.

Semiconductori. Corpuri solide destul de bune conducătoare de electricitate, dar în mai mică măsură decît metalele. În numeroase cazuri această conductibilitate depinde în bună parte de existența unor mici cantități de impurități. Germaniul și siliciul sînt semiconductori importanți pentru industrie (vezi *Tranzistori*).

Sistem inerțial. Un sistem de referință în cadrul căruia sînt valabile legile mișcării enunțate de Newton (strict vorbind, numai pentru obiecte mari și viteze moderate).

Sistem de referință. Un ansamblu de linii sau planuri (adesea imaginare) în raport cu care poate fi măsurată poziția obiectelor. De pildă: liniile de latitudine și longitudine sau podeaua unei odăi și doi pereți care formează un unghi.

Spațiu neeuclidian. Acel spațiu în care teorema lui Pitagora nu se aplică.

Spin. Termen din mecanica ondulatorie. Deși spinul unui electron, de pildă, produce unele efecte care se aseamănă cu cele ale unei sfîrleze (în engleză: *spinning top — N.T.*), analogia nu trebuie dusă prea departe. În accepția actuală a termenului, spinul nu poate fi definit decît în limbaj matematic.

Supernove. Stele noi, foarte luminoase, care se văd o dată la circa două sau trei sute de ani, poartă denumirea de supernove. Se crede că ele se datorează exploziei violente a unei stele într-un anumit stadiu al evoluției sale.

Teoria cinetică. O teorie potrivit căreia comportarea materiei — și în special cea a gazelor — se datorează mișcării atomilor sau moleculelor. În cazul gazelor, această mișcare este haotică, mereu întreruptă de ciocniri între molecule.

Teoria cuantică. Ea afirmă că schimburile de energie au loc în porții discrete, denumite cuante, care sînt proporționale cu frecvența specifică procesului respectiv. Această

teorie a îmbrăcat mai multe forme, dintre care cea general acceptată este mecanica ondulatorie.

Termodinamică. Teoria matematică a transformării reciproce a diverselor forme de energie, inclusiv căldura.

Timp sideral. Timpul măsurat prin mișcarea aparentă a stelelor. Un an sideral are o zi în plus față de anul solar.

Tranzistori. Dispozitive folosind semiconductori pentru a amplifica efectele impulsurilor electrice.

Unde. Efecte legate în mod obișnuit (dar nu în mod necesar) de o mișcare care se propagă în mod continuu, din punct în punct.

Indice

(cuvintele cuprinse în Glosar sînt însemnate cu un asterisc)

Cuprins

	Pag.
PREFAȚĂ	7
1	
INTRODUCERE. CE OBIECTIVE ÎȘI PROPUNE ȘTIINȚA?	11
2	
METODA ȘTIINȚIFICĂ ȘI UNELE CONCEPTE CE REZULTĂ DIN EA	20
James Clerk Maxwell	34
3	
DIN CE SÎNT ALCĂTUITE LUCRURILE? I. ATOMII	39
J.J. Thomson	56
F.W. Aston	60
Robert A. Millikan	65
4	
DIN CE SÎNT ALCĂTUITE LUCRURILE? II. NUCLEELE	71
Ernest Rutherford	79
5	
NOȚIUNILE DE SPAȚIU ȘI TIMP. PUNCTE DE VEDERE	83
H.A. Lorentz	105
Albert Einstein	106

6
MASĂ, ENERGIE, MATERIE 110

7
CUM AU FOST FĂCUTE UNELE DESCOPERIRI 126
John William Strutt, al treilea baron Rayleigh 141

8
TACTICA EXPERIMENTĂRII 144
C.T.R. Wilson 150

9
CIUDATA COMPORTARE A „CELOR FOARTE MICI" 152
Max Planck 176
C.J. Davisson 181

10
UNELE CONCLUZII 185

GLOSAR 189

INDICE 197